



**TUGAS AKHIR - RE 141581**

**PEMANFAATAN LARVA *BLACK SOLDIER FLY*  
(*HERMETIA ILLUCENS*) SEBAGAI SALAH SATU  
TEKNOLOGI REDUKSI SAMPAH  
DI DAERAH PERKOTAAN**

**PRETTY YUNIARTI ELISABETH SIPAYUNG  
3311 100 072**

**DOSEN PEMBIMBING  
Prof. Dr. Yulinah Trihadiningrum, M.App.Sc.**

**JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN  
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2015**



**FINAL PROJECT - RE 141581**

**UTILIZATION OF THE BLACK SOLDIER FLY  
(*HERMETIA ILLUCENS*) LARVAE AS A  
TECHNOLOGY OPTION FOR URBAN SOLID  
WASTE REDUCTION**

**PRETTY YUNIARTI ELISABETH SIPAYUNG  
3311100072**

**SUPERVISOR  
Prof. Dr. Yulinah Trihadiningrum, M.App.Sc.**

**DEPARTEMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING  
Faculty of Civil Engineering and Planning  
Institute of Technology Sepuluh Nopember  
Surabaya 2015**

**LEMBAR PENGESAHAN**

**PEMANFAATAN LARVA *BLACK SOLDIER FLY*  
(*HERMETIA ILLUCENS*) SEBAGAI SALAH SATU  
TEKNOLOGI REDUKSI SAMPAH DI DAERAH PERKOTAAN**

**TUGAS AKHIR**

**Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana**

**Pada**

**Program Studi S-1 Jurusan Teknik Lingkungan  
Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**Oleh:**

**PRETTY YUNIARTI ELISABETH SIPAYUNG  
NRP 3311 100 072**

**Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:**



**Prof. Dr. Yulinah Trihadiningrum, M.App.Sc.  
NIP. 19530706 198403 2 004**

**SURABAYA, JANUARI 2015**



**Pemanfaatan Larva *Black Soldier Fly* (*Hermetia illucens*)  
sebagai Salah Satu Teknologi Reduksi Sampah di  
Daerah Perkotaan**

Nama Mahasiswa : Pretty Yuniarti Elisabeth Sipayung  
NRP : 3311 100 072  
Jurusan : Teknik Lingkungan  
Pembimbing : Prof. Dr.YulinahTrihadiningrum, MApoSc.

**Abstrak**

Rendahnya nilai *recovery factor* sampah organik biodegradable menunjukkan rendahnya upaya *recycle* maupun *recovery* terhadap jenis sampah tersebut. Berbagai alternatif pengolahan sampah organik biodegradable telah dikembangkan. Salah satunya adalah dengan pemanfaatan larva *Black Soldier Fly* (BSF). Tujuan penelitian ini yaitu: (1) menentukan kemampuan larva BSF dalam mereduksi sampah organik *biodegradable*; (2) menentukan pengaruh jenis makanan dan frekuensi *feeding* terhadap tingkat pertumbuhan larva; (3) menentukan karakteristik residu dekomposisi larva BSF.

Penelitian dilakukan dengan menggunakan larva BSF berumur 7 hari. Sebanyak 200 larva ditempatkan dalam kandang plastik dengan volume 1 L untuk setiap perlakuan *feeding*. Variabel penelitian meliputi variasi jenis makanan dan frekuensi *feeding*. Jenis makanan yang diberikan adalah sampah kantin, sampah pisang, dan sampah mentimun. Porsi makanan yang diberikan yaitu rata-rata 40 mg (berat kering)/larva.hari. Frekuensi *feeding* yang digunakan adalah sekali dalam sehari dan sekali dalam 3 hari. Berat 10% larva diukur setiap 3 hari. Pada akhir penelitian dilakukan pengukuran berat residu dekomposisi sampah dan kualitasnya.

Tingkat penyisihan sampah mentimun, sampah kantin, dan sampah pisang masing-masing 54%; 54%; 52% pada frekuensi *feeding* sekali dalam tiga hari. Pada frekuensi *feeding* sekali dalam sehari diperoleh hasil masing-masing 52%;65%; 61%. Hanya jenis sampah makanan yang memberikan pengaruh signifikan terhadap pertumbuhan larva ( $P<0.1$ ). Rasio C/N residu sampah mentimun, sampah kantin, dan sampah pisang adalah masing-masing 9,8; 11,1; dan 10,9 untuk frekuensi *feeding* sekali

dalam tiga hari, dan masing-masing 8,0; 9,4; dan 10,0 pada frekuensi *feeding* sekali dalam sehari. Kadar air pada residu sampah mentimun, sampah kantin, dan sampah pisang adalah masing-masing 98,1%; 75,7%; dan 78,0% pada frekuensi *feeding* sekali dalam tiga hari dan masing-masing 97,9%; 73,6%; dan 81,7% pada frekuensi *feeding* sekali. Nilai pH dari residu sampah mentimun, sampah kantin, dan sampah pisang adalah masing-masing 5,54; 4,21; dan 4,18 untuk frekuensi *feeding* sekali dalam tiga hari, dan masing-masing 5,47; 5,00; dan 4,16 untuk frekuensi *feeding* sekali dalam sehari.

**Kata kunci:** *black soldier fly, larva, reduksi, sampah organik biodegradabel*



## **Utilization of the Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) Larvae as a Technology Option for Urban Solid Waste Reduction**

Student Name : Pretty Yuniarti Elisabeth Sipayung  
NRP : 3311 100 072  
Department : Environmental Engineering  
Supervisor : Prof.Dr.YulinahTrihadiningrum, MAppSc.

### **Abstract**

The lack of recycling and recovery program implementation of biodegradable organic solid waste has caused the low value of recovery factor. Various process options for treating this solid waste have been developed. One of the options is the use of black soldier fly (BSF) larvae. The objectives of this research are: (1) to determine the ability of the BSF larvae in reducing the organic biodegradable waste; (2) to determine the influence of food types and feeding frequency on the larval growth; and (3) to determine the characteristics of the residual material.

This research was done using BSF larvae of 7 day old. Two hundred larvae were used for every feeding treatment, and placed in a growing cage. The feed types and feeding frequencies were varied. The feed types were three different food waste materials, which mainly composed of cucumber, banana, and canteen's waste. The larvae were fed with 40 mg dry weight food waste/larvae.day. The feeding frequency was varied to once per day and once in three day periods. The weight of 10% of larvae per feeding treatment was measured every three days. At the end of experiment, the residual feed material and characteristics were measured.

The removal efficiencies of cucumber waste, canteen waste, and banana waste in the feeding frequency of once in 3 days were 54%; 54%; 52% respectively. Accordingly, those of the feeding frequency of once per day were 52%;65%; 61% respectively. Only the food waste type showed significant influence ( $P<0.1$ ) to the larval growth. The final C/N ratios of the cucumber waste, canteen waste, and banana waste were 9.8, 11.1, and 10.9 respectively for the feeding frequency of feeding frequency of once in 3 days; and 8.0, 9.4, 10.0 respectively in the feeding frequency of once in a day. The final water contents of

these residual materials were 98.1%, 75.7%, and 78.0% in the feeding frequency of once in 3 days; and 97.9%, 73.6%, and 81.7% in the feeding frequency once per day. The final pH values of similar residual materials were 5.54, 4.21, and 4.18 in the feeding frequency of once in 3 days and 5.47, 5.00, and 4.16 in the feeding frequency of once per day.

**Keywords:** black soldier fly, biodegradable organic solid waste, larvae, reduction



## KATA PENGANTAR

Pujian, syukur, dan hormat dinaikkan atas kehadiran Tuhan Yesus Kristus, atas kasih dan perkenanan-Nya, laporan Tugas Akhir yang berjudul “Pemanfaatan Larva *Black Soldier Fly* (*Hermetia illucens*) sebagai Salah Satu Upaya Reduksi Sampah Makanan Daerah Perkotaan” dapat penyusun selesaikan. Melalui penyusunan laporan akhir ini, penyusun turut menyampaikan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. Yulinah Trihadiningrum, M.App.Sc., sebagai dosen pembimbing dan dosen wali yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk membimbing dan mengarahkan selama penyusunan laporan kemajuan Tugas Akhir ini. Terimakasih untuk bimbingan, saran, dan *sharing* ilmunya selama penyusunan laporan Tugas Akhir ini.
2. Ir. Eddy S. Soedjono, Dipl.S.E., M.Sc., Ph.D., sebagai Kepala Jurusan Teknik Lingkungan FTSP-ITS.
3. Mr.Bart Verstappen, Mr.Stefan Diener, Ms.Alicia Gayout, Mbak Anya, dan Pak Putu dari FORWARD-EAWAG atas kesempatan untuk bergabung dengan proyek riset BSF dan untuk bantuan dana penelitian dan penyusunan laporan.
4. Arseto Bagastyo, S.T, M.T., M.Phil., Ph.D., sebagai salah satu dosen penguji Tugas Akhir saya dan sebagai koordinator Tugas Akhir jurusan Teknik Lingkungan 2014/2015. Terima kasih atas bimbingan dan arahan selama penyusunan laporan Tugas Akhir ini.
5. Welly Herumurti, S.T., M.Sc., selaku dosen penguji Tugas Akhir saya. Terima kasih atas bimbingan dan arahan selama penyusunan laporan Tugas Akhir ini.
6. IDAA Warmadewanthi, S.T., M.T., Ph.D., selaku dosen penguji Tugas Akhir saya. Terima kasih atas bimbingan dan arahan selama penyusunan laporan Tugas Akhir ini.
7. Bapak, Mama, Kak Tetty, Bang Alex, dan Bang Edwin untuk doa dan semangat yang dikirimkan untuk saya. Terima kasih untuk semua kasih sayang dan kehangatan yang diberikan. Terima kasih untuk setiap nasihat dan teguran yang saya dapatkan. Ini semua saya persembahkan secara khusus untuk Bapak dan Mama atas kasih sayang dan cinta kasih yang selama ini saya dapatkan.

8. Teman-teman angkatan 2011 Teknik Lingkungan ITS atas segala bantuan, dukungan, semangat, kritik, dan sarannya.
9. Teman-teman Theunion Surabaya, MBP 2011, Paryasop Jawa Timur, kosan KP 12, dan naposo HKBP Manyar, khususnya sahabat saya Yoko Panjaitan, Mike Panjaitan, Dewi Saragi, Hilman Siahaan, dan Satria Simamora atas dukungan, semangat, dan bantuannya selama pelaksanaan penelitian untuk Tugas Akhir saya.
10. Semua dosen dan karyawan Jurusan Teknik Lingkungan ITS. Terima kasih untuk ilmu dan didikan yang saya peroleh dari Bapak/Ibu Dosen. Terima kasih untuk bantuan kepada Bapak/Ibu karyawan selama saya berada di Jurusan teknik Lingkungan.

Penyusunan laporan Tugas Akhir ini telah diusahakan semaksimal mungkin. Namun sebagaimana manusia biasa tentunya masih terdapat kesalahan. Kritik dan saran yang membangun sangat penyusun harapkan.

Surabaya, Januari 2014

Penyusun

## DAFTAR ISI

ABSTRAK .....	i
KATA PENGANTAR .....	v
DAFTAR ISI .....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL .....	xi
<b>BAB 1 PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan Penelitian .....	3
1.4 Ruang Lingkup .....	3
1.5 Manfaat Penelitian .....	4
<b>BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>5</b>
2.1 Gambaran Umum Sampah .....	5
2.1.1 Pengertian sampah .....	5
2.1.2 Penggolongan sampah .....	5
2.1.3 Komposisi, timbunan, dan densitas sampah.....	6
2.1.4 Karakteristik sampah.....	7
2.1.5 Pengomposan sampah organik .....	11
2.2 Gambaran Umum <i>Black Soldier Fly (Hermetia illucens)</i> .....	13
2.2.1 Siklus hidup BSF .....	14
2.2.2 Komposisi kimia tubuh larva BSF .....	18
2.2.3 Pemanfaatan larva BSF .....	19
2.3 Reduksi Sampah Organik dengan Larva <i>Black Soldier Fly</i> (BSF) .....	20
2.3.1 Kandungan biokimia enzim pencernaan larva BSF ..	22
2.3.2 Indeks reduksi sampah oleh larva BSF .....	24
2.3.3 Laju konsumsi sampah.....	24
2.3.4 Laju konsumsi harian sampah .....	24
2.3.5 Nilai reduksi materi kering.....	25
2.4 Penelitian Terdahulu .....	25
<b>BAB 3 METODE PENELITIAN.....</b>	<b>27</b>
3.1 Gambaran Umum Penelitian .....	27
3.2 Kerangka Penelitian .....	27
3.3 Tahapan Penelitian .....	30
3.3.1 Ide penelitian .....	30

3.3.2 Studi literatur .....	30
3.3.3 Persiapan penelitian.....	31
3.3.4 Penelitian pendahuluan.....	32
3.3.5 Pelaksanaan penelitian .....	33
3.3.6 Pengumpulan data .....	41
3.3.7 Analisa data dan pembahasan.....	41
3.3.8 Kesimpulan dan saran.....	41
<b>BAB 4 ANALISIS DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>43</b>
4.1 Jenis Sampel .....	43
4.2 Penelitian Pendahuluan .....	43
4.2.1 Pengukuran kadar air sampah .....	43
4.2.2 Pengukuran pH awal sampel .....	45
4.2.3 Pengukuran rasio C/N awal sampel.....	45
4.3 Hasil Analisis Pelaksanaan Penelitian .....	47
4.3.1 Suhu dan kelembaban udara lokasi pelaksanaan ....	47
4.3.2 Penambahan berat larva .....	48
4.3.3 Berat residu hasil dekomposisi .....	60
4.3.4 pH residu hasil dekomposisi .....	61
4.3.5 Rasio C/N residu hasil dekomposisi.....	62
4.4 Persentase Reduksi Sampah oleh Larva BSF .....	65
<b>BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN</b>	
5.1 Kesimpulan .....	69
5.2 Saran .....	70
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	
<b>LAMPIRAN</b>	



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Siklus Hidup BSF .....	18
Gambar 3.1	Diagram Alir Kerangka Penelitian .....	29
Gambar 3.2	(a) Reaktor Pemiakan Larva BSF; (b) Kotak Penyimpan Reaktor .....	32
Gambar 4.1	Sampel Sampah Sebagai Makanan Larva: (a) Sampah Kantin; (b) Sampah Mentimun; (c) Sampah Pisang .....	43
Gambar 4.2	Trend Suhu dan Kelembaban Udara Lokasi Percobaan (Per 10 Menit) .....	48
Gambar 4.3	Pengukuran Berat Larva: (a)Pengeringan Larva Di Atas Tissue;(b)Pengukuran dengan Neraca Analitis.....	45
Gambar 4.4	Prepupa 50% Dicapai pada Sampel Pakan Ayam.....	50
Gambar 4.5	Trend Penambahan Berat Tubuh Larva Pada Sampel Pakan Ayam .....	51
Gambar 4.6	Perbandingan Ukuran Tubuh Larva dan Prepupa .....	52
Gambar 4.7	Larva BSF Pada Sampah Makanan Kantin dengan Kandungan Minyak yang Cukup Tinggi .....	53
Gambar 4.8	Trend Pertambahan Berat Tubuh Larva Pada Sampel Sampah Kantin.....	53
Gambar 4.9	Larva BSF nDi Dalam Sampah Pisang .....	54
Gambar 4.10	Trend Pertambahan Berat Tubuh Larva Pada Sampel Sampah Pisang .....	55
Gambar 4.11	Larva BSF Di Dalam Sampah Mentimun .....	56
Gambar 4.12	Trend Pertambahan Berat Tubuh Larva Pada Sampel Sampah Mentimun .....	57
Gambar 4.13	(a)Tahap Pergantian Kulit (Instar) Pada Larva BSF;(b) Instar yang Terkelupas dari Tubuh BSF.....	58
Gambar 4.14	Trend Pertambahan Berat Tubuh Larva Pada Masing - masing Sampel Sampah dengan Frekuensi Feeding Sekali Dalam Sehari.....	59
Gambar 4.15	Perbandingan pH Awal dan pH Akhir.....	63

Gambar 4.16 Grafik Perbandingan C/N Rasio Awal dan Akhir 66

Gambar 4.17 Persen Reduksi Sampah oleh Larva BSF

(a) Frekuensi *Feeding* Sekali Dalam Tiga Hari;

(b) Frekuensi *Feeding* Sekali Dalam Sehari..... 69





## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan Komposisi Sampah Lima Negara ...	6
Tabel 2.2 Berat Jenis Sampah Berdasarkan Jenisnya .....	6
Tabel 2.3 Tipikal Kandungan Energi Sampah Organik .....	10
Tabel 2.4 Kandungan Kimia pada Tubuh Larva BSF .....	18
Tabel 2.5 Kandungan Asam Amino pada Tubuh Larva BSF ..	19
Tabel 2.6 Perbandingan Aktivitas Enzim Pencernaan pada Kelenjar Ludah dan Mulut Larva BSF dan Lalat Rumah Menggunakan Metode API ZYM Enzyme Assay.....	23
Tabel 3.1 Perlakuan Percobaan Penelitian .....	37
Tabel 4.1 Data Berat Kering dan Kadar Air Sampel .....	44
Tabel 4.2 Data Pengukuran pH Awal Sampel.....	45
Tabel 4.3 Hasil Analisis Awal C Total, N Total, dan Rasio C/N Sampel.....	46
Tabel 4.4 Data Kadar Air Akhir Hasil Dekomposisi .....	60
Tabel 4.5 Berat Kering Akhir Hasil Dekomposisi .....	61
Tabel 4.6 Data Pengukuran Rasio C/N Residu.....	66
Tabel 4.7 Laju Konsumsi Harian Larva .....	67
Tabel 4.8 Persentase reduksi sampah oleh larva BSF .....	68

*"Halaman ini sengaja dikosongkan"*



# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang Masalah

Seiring dengan pesatnya pertumbuhan penduduk dan urbanisasi, serta semakin meningkatnya perilaku konsumtif masyarakat, pemerintah dihadapkan dengan tantangan mengenai pengelolaan sampah (Diener *et al.*, 2011). Tchobanoglous *et al.* (1993) mendefinisikan sampah sebagai bahan buangan padat maupun semi padat yang dihasilkan dari aktivitas manusia dan hewan yang dibuang karena tidak dibutuhkan atau tidak digunakan lagi. Pengelolaan sampah merupakan salah satu masalah, baik di negara maju maupun di negara berkembang, yang belum terselesaikan sampai sekarang. Pengelolaan sampah yang buruk akan meningkatkan risiko terjadinya banjir dan juga dapat mencemari air tanah (Lamond *et al.*, 2012). Berbagai upaya telah dilakukan untuk menemukan suatu sistem pengelolaan sampah yang berkelanjutan dan terintegrasi. Kegiatan *recycle* sampah merupakan salah satu solusi untuk mengurangi timbulan sampah dengan biaya yang minimum yang dikelola oleh sektor formal maupun informal (Diener *et al.*, 2011).

Namun karena *recycle* hanya didasarkan pada tujuan ekonomi, membuat penerapannya hanya dilakukan pada sampah dengan nilai *recovery factor* (RF) yang tinggi. Sampah organik yang jumlahnya bisa mencapai 80% dari total sampah, biasanya hanya dilihat sebagai barang sisa tanpa nilai ekonomi sama sekali (Diener *et al.*, 2011). Hal ini disebabkan karena kecilnya keuntungan yang diperoleh dari pengelolaan sampah organik. Salah satu contoh nyata yaitu kegiatan pengomposan yang kalah saing dengan pupuk kimia, yang mengakibatkan rendahnya harga jual kompos organik (Diener *et al.*, 2011). Pada akhirnya sampah organik hanya dibuang dan ditimbun saja di TPA (tempat pemrosesan akhir), yang meningkatkan penyebaran vektor penyakit dan produksi gas rumah kaca (Diener, 2010).

Menanggapi kondisi tersebut, perlu dilakukan suatu upaya pemanfaatan sampah organik yang juga memiliki nilai ekonomis tinggi. Salah satu upaya yang ditawarkan adalah dengan memanfaatkan *Black Soldier Flies* (BSF) atau *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae) (Popa dan Green, 2012).

BSF merupakan spesies lalat daerah tropis yang dapat mengurai materi organik dan mampu berkembangbiak sebanyak tiga kali dalam setahun di negara bagian selatan Amerika Serikat. BSF betina dewasa bertelur satu kali seumur hidupnya dan menghasilkan antara 320-620 telur setelah masa kopulasi kurang dari 2 hari (Holmes *et al.*, 2012).

BSF telah diteliti dapat mendegradasi sampah organik dengan memanfaatkan larvanya yang akan mengekstrak energi dan nutrisi dari sampah sayuran, sisa makanan, bangkai hewan, dan kotoran sebagai bahan makanannya (Popa dan Green, 2012). Holmes (2010) menyatakan larva BSF dapat mendegradasi baik sampah padat maupun sampah cair. Selain itu larva BSF mudah untuk dikembangbiakkan dengan sifatnya yang tidak berpengaruh terhadap musim, meskipun lebih aktif pada kondisi yang hangat. Larva BSF mampu mendegradasi sampah dengan 80% jumlah sampah organik yang diberikan (Diener, 2010). Larva BSF mampu mengonsumsi sampah makanan dalam jumlah besar lebih cepat dan lebih efisien dibandingkan spesies lain yang diketahui. Hal ini dipengaruhi oleh bagian mulutnya dan enzim pencernaannya yang lebih aktif (Kim *et al.*, 2010). Selain itu prepupa BSF, tahap sebelum menjadi pupa, mengandung 40% protein dan 30% lemak yang memungkinkan penggunaannya sebagai alternatif bahan pakan ternak (Diener, 2010).

Berdasarkan laporan Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi tahun 2010, persentase sampah organik mencapai 65,05% (BPPT RI, 2010). Kusnadi *et al.*, (2009) menyebutkan dari total sampah organik kota, sekitar 60% merupakan sampah sayuran dan 40% merupakan gabungan sampah kebun, kulit buah-buahan, dan sisa makanan. Berdasarkan persentase di atas akan diperoleh timbunan sampah makanan sangat tinggi apabila langsung dibuang ke TPA tanpa pengolahan terlebih dahulu. Didukung faktor tersebut, pemanfaatan larva BSF untuk mereduksi sampah makanan layak untuk dikembangkan.

Penelitian ini akan dilakukan dengan metode pemanfaatan larva BSF untuk mendegradasi sampah organik sebagai bahan makanannya. Sampah organik yang dijadikan sebagai sampel adalah sampah dari pasar dan sampah makanan dari kantin.

Sebagai kontrol pengaruh jenis sampel terhadap persentase reduksi sampah dan tingkat pertumbuhan larva BSF akan digunakan pakan ayam. Hasil akhir penelitian yang ingin dicapai adalah untuk menentukan besarnya persentase reduksi sampah makanan yang dapat dilakukan melalui pemanfaatan larva BSF. Persentase reduksi sampah organik ini kemudian digunakan untuk menghitung peluang reduksi sampah daerah perkotaan melalui pemanfaatan larva BSF.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang di atas, rumusan masalah yang akan dibahas pada penelitian ini adalah :

1. Bagaimana kemampuan larva BSF dalam mendekomposisi sampah organik *biodegradable*, khususnya untuk sampah pisang dan sampah mentimun, dan sampah makanan dari kantin?
2. Bagaimana pengaruh variabel jenis makanan dan frekuensi *feeding* yang dilakukan terhadap tingkat pertumbuhan larva BSF?
3. Bagaimana karakteristik hasil dekomposisi sampah organik *biodegradable* yang dilakukan oleh larva BSF?

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Menentukan kemampuan larva BSF dalam mendekomposisi sampah organik *biodegradable*, khususnya untuk sampah pisang, sampah mentimun, dan sampah makanan dari kantin.
2. Menentukan pengaruh variabel jenis makanan dan frekuensi *feeding* yang dilakukan terhadap tingkat pertumbuhan larva BSF.
3. Menentukan karakteristik hasil dekomposisi sampah organik *biodegradable* yang dilakukan oleh larva BSF.

## **1.4 Ruang Lingkup Penelitian**

Ruang lingkup bertujuan untuk membatasi masalah yang akan dibahas pada penelitian ini. Tugas akhir ini memiliki ruang lingkup penelitian sebagai berikut :

1. Sampel sampah makanan yang akan digunakan adalah sampah pisang, sampah mentimun, dan sampah makanan dari kantin.

2. Penelitian ini dilaksanakan pada rentang waktu antara bulan Oktober 2014 hingga Desember 2014.
3. Penelitian dilakukan dalam skala laboratorium.
4. Penelitian pemanfaatan lalat *H.illucens* dilaksanakan di *Workshop* Penelitian Jurusan Teknik Lingkungan; pelaksanaan analisis dilakukan di Laboratorium Pengolahan Limbah Padat dan B3 dan Laboratorium Sanitasi Lingkungan dan Fitoteknologi Jurusan Teknik Lingkungan; dan kantor FORWARD di Sidoarjo sebagai lokasi pembibitan BSF.

### **1.5 Manfaat Penelitian**

Manfaat yang diperoleh dengan adanya penelitian ini adalah diperolehnya informasi potensi reduksi sampah makanan oleh larva BSF sebagai salah satu alternatif untuk mengurangi timbulan sampah. Selain itu penelitian ini diharapkan bermanfaat bagi masyarakat, sebagai upaya meningkatkan kesejahteraan finansial melalui pemanfaatan larva BSF sebagai salah satu alternatif bahan pakan ternak.





## **BAB 2**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Gambaran Umum Sampah**

Setiap aktifitas manusia tidak terlepas dari dihasilkannya zat sisa atau buangan yang tidak digunakan lagi. Sisa atau buangan tersebut ada yang masih memiliki nilai guna atau bahkan tidak lagi memiliki nilai guna sama sekali.

##### **2.1.1 Pengertian sampah**

Sampah adalah bahan buangan padat maupun semi padat yang dihasilkan dari aktivitas manusia dan hewan yang dibuang karena tidak dibutuhkan atau tidak digunakan kembali (Tchobanoglous *et al.*, 1993). Undang-undang No.18 tahun 2008 mendefinisikan sampah sebagai sisa kegiatan sehari-hari manusia dan/atau proses alam yang berbentuk padat.

##### **2.1.2 Penggolongan sampah**

Menurut Suprihatin *et al.* (1996) berdasarkan asalnya sampah padat dapat digolongkan menjadi :

###### **a. Sampah organik**

Sampah organik terdiri dari bahan-bahan yang berasal dari tumbuhan dan hewan yang diambil dari alam atau dihasilkan dari kegiatan pertanian, perikanan, dan lainnya. Sampah organik mudah diuraikan dalam proses alami. Sebagian besar sampah rumah tangga merupakan bahan organik, misalnya sampah dari dapur, sisa tepung, sayuran, kulit buah, dan daun.

###### **b. Sampah anorganik**

Sampah anorganik merupakan sampah yang berasal dari sumber daya alam tidak dapat diperbaharui seperti mineral dan minyak bumi, atau dari proses industri. Beberapa dari bahan ini tidak terdapat di alam seperti plastik dan aluminium. Sebagian besar sampah anorganik secara keseluruhan tidak dapat diuraikan oleh alam, sedang sebagian lainnya hanya dapat diuraikan dalam jangka waktu yang sangat lama. Contoh sampah anorganik pada tingkat rumah tangga yaitu botol kaca, botol plastik, dan kaleng. Pemilahan sampah sesuai jenis dan manfaatnya di sumber akan mempermudah pengolahan sampah.

### 2.1.3 Komposisi, timbunan, dan densitas sampah

Komposisi dan timbunan sampah di negara maju berbeda dengan di negara berkembang. Hal ini dipengaruhi oleh tingkat pendapatan dan tingkat pendidikan penduduk. Sampah organik merupakan jenis sampah yang dominan dihasilkan di negara berkembang. Menurut Pramono (2004) Srilanka dan Indonesia memiliki komposisi sampah organik sebesar 70 %. Perbandingan komposisi sampah di lima negara di daerah Asia dapat dilihat di Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Perbandingan Komposisi Sampah Lima Negara

Komponen	Persentase Komposisi Sampah (%)				
	Indonesia	Filipina	China	India	Srilanka
Sampah Organik	70,2	41,6	35,8	41,8	76,4
Kertas	10,9	19,5	3,7	5,7	10,6
Plastik	8,7	13,8	3,8	3,9	5,7
Gelas	1,7	2,5	2,0	2,1	1,3
Besi	1,8	4,8	0,3	1,9	1,3
Lainnya	6,2	17,9	54,8	44,6	4,7

Sumber : Pramono, 2004

Komposisi sampah berbeda setiap tahunnya tergantung pada perubahan jumlah penduduk dan perubahan pola hidup penduduknya. Perubahan komposisi sampah secara tidak langsung turut mengubah sistem pengelolaannya. Perubahan komposisi ini juga akan merubah jumlah timbunan sampah dihasilkan.

Timbunan sampah adalah banyaknya sampah yang timbul dalam satuan volume atau berat per kapita, per luas bangunan, atau per panjang jalan, per hari (SNI 2002). Berat sampah akan menentukan jenis kendaraan pengangkut yang akan digunakan (Gabrina *et al.*, 2010). Berdasarkan jenisnya, nilai berat jenis sampah dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Berat Jenis Sampah Berdasarkan Jenisnya

Komponen sampah	Berat jenis (kg/m <sup>3</sup> )	
	Rentang	Tipikal
Sampah makanan	120 – 480	290
Kertas	30 -130	85
Karton/kardus	30 – 80	50

Tabel 2.2 Lanjutan

Komponen sampah	Berat jenis (kg/m <sup>3</sup> )	
	Rentang	Tipikal
Plastik	30 - 130	65
Tekstil	30 - 100	65
Karet	90 - 200	130
Kulit	90 - 260	160
Sampah taman/kebun	60 - 225	105
Kayu	120 - 320	240
Bahan organik	90 - 360	140
Kaca	160 - 480	195
Kaleng	45 - 160	90
Logam bukan besi	60 - 240	160
Besi	120 - 1200	320
Tanah, abu, batu bata, dll	320 - 960	480
Sampah lepas	90 - 180	130
Sampah di kontainer	180 - 450	300
Sampah dipadatkan di TPA (normal)	350 - 550	475
Sampah dipadatkan di TPA (sangat baik)	600 - 750	600

Sumber : Gabrina *et al.*, 2010

### 2.1.4 Karakteristik sampah

Karakteristik fisik dan karakteristik kimia sampah berbeda, tergantung pada sumber dan jenis sampah. Karakteristik sampah perlu diketahui untuk mempermudah merencanakan dan menentukan metode pengolahan yang cocok digunakan untuk setiap jenis sampah.

#### Sifat Fisik Sampah

Sifat fisik sampah perlu untuk diketahui berhubungan dengan metode pengolahan yang akan dilakukan. Informasi mengenai komposisi sampah, kadar air, ukuran partikel, massa jenis, suhu, dan pH perlu untuk diketahui karena hal tersebut berhubungan dengan laju degradasi sampah. Semua sifat fisik tersebut ditentukan oleh komponen yang terdapat dalam sampah.

#### a. Kadar Air

Kadar air sampah dipresentasikan sebagai berat kandungan air per berat basah dari sampah. Kadar air sampah dapat ditentukan melalui persamaan (2.1).

$$\text{Kadar air (\%)} = \left( \frac{a - b}{a} \right) 100 \quad (2.1)$$

Dimana : a = berat awal (berat basah) sampah

b = berat akhir sampah (berat kering)

Menurut Tchobanoglous *et al.* (1993), tipikal kandungan air pada sampah makanan adalah 70% dan sampah kebun sebesar 60%. Namun pada umumnya kadar air sampah akan berbeda tiap musimnya, tergantung pada kondisi cuaca dan iklim, curah hujan, dan kelembaban udara.

b. Massa Jenis Sampah

Massa jenis sampah didefinisikan sebagai berat sampah per volume sampah (Tchobanoglous *et al.*, 1993). Data mengenai massa jenis sampah diperlukan untuk mengetahui total massa dan volume sampah yang harus dikelola. Hal ini berhubungan dengan fasilitas dan luas lahan yang diperlukan. Massa jenis sampah sangat dipengaruhi oleh lokasi geografis, musim, dan lamanya sampah di tempat pembuangan, sehingga tidak ada angka yang pasti untuk menentukannya. Tchobanoglous *et al.* (1993) menyebutkan tipikal massa jenis untuk sampah makanan adalah 300 kg/m<sup>3</sup>.

c. Ukuran Partikel

Faktor ukuran partikel penting untuk diketahui berhubungan dengan pertimbangan pemanfaatan sampah dengan nilai *recovery* dan *recycle* yang tinggi, melalui pemanfaatan *magnetic separator* pada saat pemisahannya dari sampah tercampur. Ukuran partikel juga mempengaruhi massa jenis pengemasan sampah dan meningkatkan rasio luas permukaan dan volume sampah, melalui *shredding* sampah. Semakin kecil ukuran partikel sampah semakin tinggi produksi sampah yang dihasilkan karena semakin meningkatnya tingkat degradasi sampah oleh bakteri.

d. *Field Capacity* (FC)

*Field capacity* (FC) atau kapasitas lahan merupakan total jumlah air yang dapat ditahan oleh permukaan sampah. FC diperlukan untuk menentukan potensi pembentukan lindi yang dapat meresap ke dalam tanah.

### Sifat Kimia Sampah

Informasi kandungan kimia dalam sampah perlu diketahui dalam analisis alternatif pengolahan yang dapat dilakukan dan analisis terhadap potensi pemanfaatan sampah. Pada umumnya, sampah sering dianggap sebagai gabungan dari materi semi-mudah terbakar dan materi tidak mudah terbakar. Jika sampah hendak digunakan sebagai bahan bakar, 4 (empat) hal penting untuk diketahui adalah:

- a. Analisis perkiraan, yaitu terhadap kadar air sampah setelah dibakar pada suhu 105°C selama satu jam; materi volatile sampah setelah pembakaran pada suhu 950°C; abu yang dihasilkan setelah pembakaran; dan karbon yang tertinggal setelah dibakar.
- b. Titik lebur abu
- c. Analisis akhir kandungan C (karbon), N (nitrogen), P (fosfor)  
Selain sebagai pertimbangan untuk menentukan potensi penggunaan sampah sebagai bahan bakar, analisis terhadap persentase C, N, P sampah penting dalam pengolahan sampah dengan metode pengomposan. Sulistyawati *et al.* (2008) menyebutkan kandungan C, N, P merupakan kandungan hara yang dibutuhkan oleh tumbuhan sebagai makanannya.

Dalam kondisi aerob mikroba akan memanfaatkan oksigen bebas untuk mendekomposisikan material organik dan mengasimilasi sebagian unsur C, N, P, dan unsur lain yang diperlukan untuk sintesis protoplasma sel mikroba tersebut. Tumbuhan akan lebih mudah menyerap unsur P dari sampah yang sudah terdegradasi (Sulistyawati *et al.*, 2008). Kandungan P sebagai unsur makro primer pada kompos akan meningkatkan nilai dari kompos, sehingga pengukurannya perlu untuk dilakukan (Sutanto, 2002). Unsur P pada kompos penting untuk memacu pertumbuhan akar, pertumbuhan bunga dan munculnya akar, serta menambah daya tahan tumbuhan terhadap pengaruh hama (Lakitan, 1993).

Faktor paling penting penentu keberhasilan pengomposan adalah rasio C/N (Tchobanoglou *et al.*, 1993). Rasio C/N pada sampah berperan pada pertumbuhan mikroorganisme pada saat pengomposan dan produksi biogas (Selintung *et al.*, 2013). Hal ini berhubungan dengan pasokan zat hara yang

diperlukan mikroorganisme selama proses pengomposan dan pembuatan biogas, dimana mikroba akan memecah senyawa C sebagai sumber energi dan mensintesis protein dengan menggunakan nitrogen. Rynk *et al.* (1992) mengemukakan salah satu syarat terjadinya pengomposan yang baik adalah rasio C/N sampah yaitu antara 25:1 sampai 40:1. Sumber lain menyatakan, rasio C/N paling optimum untuk pengomposan berkisar antara 30:1 sampai 40:1 (Selintung *et al.*, 2013). Penentuan nilai N-total dari sampah dapat dilakukan dengan menggunakan metode Kjeldahl (Diaz *et al.*, 1993). Sementara penentuan C-organik dapat dilakukan melalui metode pembakaran di furnace (550°C) selama satu jam. Kemudian ditentukan persen C-organiknya dengan persamaan berikut (Polprasert, 2007):

$$C = \frac{100 - \%abu}{1.8}$$

d. Nilai kalori pembakaran

Kandungan energi di dalam sampah penting untuk diketahui sehubungan dengan potensi energi yang dapat dimanfaatkan. Kandungan energi sampah didefinisikan sebagai nilai kalori sampah. Nilai kalori diukur dalam satuan kJ/kg. Menurut Tchobanoglous *et al.* (1993), kandungan energi sampah dapat ditentukan dengan 3 (tiga) cara yaitu:

- Menggunakan pengukur uap sebagai kalorimeter
- Menggunakan *bomb calorimeter*
- Melalui perhitungan berdasarkan formula:

$$CV = 2,326 \times 145 C + 610 \left( H + \frac{1}{8} O \right) + 40S + 10 N$$

Pada Tabel 2.3 dapat dilihat tipikal nilai kandungan energi dari sampah organik pemukiman.

Tabel 2.3 Tipikal Kandungan Energi Sampah Organik

Komponen	Kandungan Energi ( kJ/Kg )	
	Rentang	Tipikal
Sampah makanan	3.500 - 7.000	4.650
Kertas	11.600 - 18.610	16.760
Kulit	15.130 - 19.800	17.460
Sampah Kebun	2.330 - 18.620	6.520
Kayu	17.460 - 19.800	18.620

Sumber : Tchobanoglous *et al.*, 1993

### 2.1.5 Pengomposan sampah organik

Pengomposan (*composting*) merupakan salah satu upaya dalam pengelolaan sampah pemukiman. Pengomposan sampah dapat mengurangi volume sampah hingga 50% dan mengkonsumsi 50% materi organik pada sampah dalam berat kering serta melepaskan gas CO<sub>2</sub> dan air (Tchobanoglous dan Kreith, 2002). Pengomposan dengan mudah mendegradasi materi organik *degradable* dari tumbuhan dan hewan. Tidak seperti halnya untuk materi organik sulit terdegradasi lainnya (kayu, kulit, dan polimer) dan materi inorganik.

Definisi pengomposan dalam pengelolaan sampah adalah proses dekomposisi secara biologik dari materi organik *biodegradable* dengan kontrol kondisi yang stabil, bebas dari gangguan, dan aman untuk diaplikasikan (Tchobanoglous dan Kreith, 2002). Kontrol kondisi yang dilakukan pada saat pengomposan membedakan pengolahan sampah melalui metode pengomposan dengan dekomposisi yang terjadi secara alami di *landfill* ataupun TPA *open dumping*. Dekomposisi biologik yang terjadi pada saat pengomposan secara umum dibantu oleh bakteri, *actinomyces*, jamur, protozoa, cacing, dan beberapa larva.

Jenis pengomposan dapat diklasifikasikan berdasarkan kondisi kultural pengomposan dan penggunaan teknologi pengolahan yang digunakan. Berdasarkan kondisi kulturalnya, kompos dibedakan menjadi kompos aerobik, kompos anaerobik, kompos mesofilik, dan kompos termofilik. Kompos aerobik dan anaerobik dibedakan berdasarkan kehadiran oksigen pada saat proses pengomposan. Kompos mesofilik dan kompos termofilik dibedakan berdasarkan suhu pengomposan.

Proses pengomposan terjadi melewati 3 (tiga) tahap, yaitu *lag phase*, *active phase*, dan *maturation of caring phase*. *Lag phase* terjadi segera setelah kondisi pengomposan diatur dan merupakan periode adaptasi mikroba yang tumbuh pada sampah. *Active phase* merupakan tahap transisi dari *lag phase* yang ditandai dengan peningkatan jumlah mikroba dan aktifitas mikroba pada sampah. *Maturation of caring phase* terjadi setelah semua materi organik *biodegradable* habis terdekomposisi. Pada tahap ini proporsi materi yang resisten akan terus naik dan perkembangbiakan mikroorganisme akan menurun. Penurunan

suhu pada kompos akan terus terjadi sampai sama dengan suhu ambien.

Faktor dan parameter penting dalam pengomposan (Tchobanoglous dan Kreith, 2002) antara lain:

- a. Ketersediaan kandungan nutrisi dan substrat dari bahan yang akan dikomposkan.
- b. Unsur kimia pada sampah, yaitu unsur makro berupa karbon (C), nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K) dan unsur mikro berupa kobalt (Co), mangan (Mn), magnesium (Mg), tembaga (Cu), dan kalsium (Ca). Unsur makro dan mikro ini diperlukan untuk pertumbuhan mikroba pada bahan yang akan dikomposkan.
- c. Rasio C/N sebagai faktor nutrisi yang diperlukan mikroorganisme untuk tumbuh. Rasio C/N yang ideal sebagai bahan baku kompos adalah 20-25 (Tchobanoglous *et al.*, 1993; Tchobanoglous dan Kreith, 2002). Menurut Rynk *et al.* (1992) rasio C/N yang baik adalah 25 sampai 40.
- d. Ukuran partikel bahan kompos yang berpengaruh pada kecepatan materi organik terdekomposisi. Secara teoritis, semakin besar ukuran bahan kompos semakin lama proses degradasi dan sebaliknya.
- e. Ketersediaan oksigen memiliki pengaruh penting dalam pengomposan aerobik. Oksigen penting untuk respirasi dan metabolisme dari mikroorganisme.
- f. Nilai pH bahan kompos yang optimum untuk pertumbuhan mikroorganisme. Nilai pH optimum untuk pertumbuhan bakteri umumnya berada pada rentang 6,0-7,5, sedangkan pada jamur pada rentang 5,5-8,0.
- g. Suhu optimum yang dibutuhkan tergantung jenis mikroorganisme yang digunakan, apakah mikroorganisme termofilik atau mikroorganisme mesofilik.

#### Pengomposan Vermikomposting

Vermikomposting merupakan teknik pengomposan dengan memanfaatkan bantuan cacing tanah (*Lumbricus robelius*) untuk mendekomposisi sampah organik *biodegradable* (Sumardiono *et al.*, 2011). Pengomposan dengan metode vermicomposting lebih cepat 2 kali lipat dibanding pengomposan secara konvensional. Hal ini dikarenakan penguraian materi organik oleh cacing tanah



lebih cepat berlangsung dengan adanya enzim selulase yang membantu penguraian selulosa pada sampah (Sumardiono *et al.*, 2011).

Pemanfaatan cacing tanah untuk mendekomposisi sampah organik *biodegradable* berlangsung dengan baik pada kondisi sampah yang sudah ditumbuhi jamur (Soma, 2010) yang dapat mengakibatkan kematian pada cacing tanah. Selain itu dekomposisi materi organik *biodegradable* oleh cacing tanah memerlukan pH mendekati netral. Melalui penelitiannya, Soma (2010) menemukan proses degradasi oleh cacing tanah berlangsung lebih lambat pada kondisi asam.

## **2.2 Gambaran Umum *Black Soldier Fly* (*Hermetia illucens*)**

*Black Soldier Fly* (BSF) atau dalam bahasa latin *Hermetia illucens* merupakan spesies lalat dari ordo Diptera, family Stratiomyidae dengan genus *Hermetia* (Hem, 2011). BSF merupakan lalat asli dari benua Amerika (Hem, 2011) dan sudah tersebar hampir di seluruh dunia antara 45° Lintang Utara dan 40° Lintang Selatan (Diener, 2010). Hem (2011) menyatakan BSF juga ditemukan di Indonesia, tepatnya di daerah Maluku dan Irian Jaya sebagai salah satu ekosistem alami BSF. Suhu optimum pertumbuhan BSF adalah antara 30°C-36°C. Larva BSF tidak dapat bertahan pada suhu kurang dari 7°C dan suhu lebih dari 45°C (Popa dan Green, 2012).

BSF adalah spesies lalat tropis yang mempunyai kemampuan mengurai materi organik dengan sangat baik (Holmes *et al.*, 2012) dan sudah digunakan sebagai agen pengurai limbah organik (Rachmawati *et al.*, 2010). BSF mampu mengekstrak energi dan nutrisi dari sisa sayuran, sisa makanan, bangkai hewan, dan sisa kotoran lainnya seperti tinja dan air limbah domestik sebagai makanannya (Popa dan Green, 2012). Rendahnya nilai ekonomis dari limbah tersebut menguntungkan upaya pengembangan bioteknologi dari BSF. Larva dari BSF dapat mendaur ulang sampah jenis padat maupun jenis cairan, serta cocok untuk dikembangkan secara monokultur karena mudah disebarkan, aman dan mudah dikembangkan di semua kondisi, tidak mudah terpengaruh oleh mikroorganisme, dan tidak mudah terjangkit parasit (Popa dan Green, 2012). BSF juga mampu bertahan dalam kondisi ekstrem dan mampu bekerjasama

dengan mikroorganisme untuk mendegradasi sampah organik (Popa dan Green, 2012). BSF bukan hama (Popa dan Green, 2012) dan merupakan jenis lalat yang memiliki risiko penyebaran penyakit yang lebih rendah dibanding jenis lalat lainnya (Bullock *et al.*, 2013). Secara singkat keuntungan yang dapat diperoleh dari pemanfaatan larva BSF (Popa dan Green, 2012) adalah:

- Dapat mendegradasi sampah organik menjadi nutrisi untuk pertumbuhannya
- Dapat mengkonversi sampah organik menjadi kompos dengan kandungan penyubur yang tinggi
- Dapat mengontrol bau dan hama, serta dapat mengurangi emisi gas rumah kaca pada saat proses dekomposisi sampah
- Tubuhnya mengandung zat kitin dan protein yang cukup tinggi yang dapat digunakan sebagai pakan ternak
- Kandungan lemak yang tinggi pada tubuh larva BSF dapat dimanfaatkan sebagai bahan *biofuel*

### **2.2.1 Siklus hidup BSF**

Siklus hidup BSF merupakan sebuah siklus metamorfosis sempurna dengan 4 (empat) fase, yaitu telur, larva, pupa, dan BSF dewasa (Popa dan Green, 2012). Siklus metamorfosis BSF berlangsung dalam rentang kurang lebih 40 hari, tergantung pada kondisi lingkungan dan asupan makanannya (Alvarez, 2012).

#### **a. Fase Telur**

Lalat betina BSF mengeluarkan sekitar 300-500 butir telur pada masa satu kali bertelur. BSF meletakkan telurnya di tempat gelap, berupa lubang/celah yang berada di atas atau di sekitar material yang sudah membusuk seperti kotoran, sampah, ataupun sayuran busuk. Telur BSF berukuran sekitar 0.04 inci (kurang dari 1 mm) dengan berat 1-2 µg, berbentuk oval dengan warna kekuningan. Telur BSF bersifat agak lengket dan sulit lepas meskipun dibilas dengan air.

Suhu optimum pemeliharaan telur BSF adalah antara 28-35°C. Pada suhu kurang dari 25°C telur akan menetas lebih dari 4 hari, bahkan bisa sampai 2 atau 3 minggu. Telur akan mati pada suhu kurang dari 20°C dan lebih dari 40°C.

Telur BSF akan matang dengan sempurna pada kondisi lembab dan hangat, dengan kelembaban sekitar 30%-40%.

Telur akan menetas dengan baik pada kelembaban 60%-80%. Jika kelembaban kurang dari 30%, telur akan mengering dan embrio di dalamnya akan mati. Kondisi ini akan memicu pertumbuhan jamur jenis Ascomycetes yang dapat mempercepat kematian telur lainnya sebelum menetas menjadi larva. Telur BSF juga tidak dapat disimpan di tempat yang miskin oksigen ataupun terpapar pada tingkat gas karbondioksida yang cukup tinggi.

b. Fase Larva

Larva yang baru menetas dari telur berukuran sangat kecil, sekitar 0.07 inci (1.8 mm) dan hampir tidak terlihat dengan mata telanjang. Tidak seperti lalat dewasa yang menyukai sinar matahari, larva BSF bersifat photofobia.

Hal ini terlihat jelas ketika larva sedang makan, dimana mereka lebih aktif dan lebih banyak berada di bagian yang miskin cahaya. Larva yang baru menetas optimum hidup pada suhu 28-35°C dengan kelembaban sekitar 60-70% (Holmes *et al.*, 2012). Pada umur 1 (satu) minggu, larva BSF memiliki toleransi yang jauh lebih baik terhadap suhu yang lebih rendah. Ketika cadangan makanan yang tersedia cukup banyak, larva muda dapat hidup pada suhu kurang dari 20°C dan lebih tinggi daripada 45°C. Namun larva BSF lebih cepat tumbuh pada suhu 30-36°C.

Larva yang baru menetas akan segera mencari tempat yang lembab dimana mereka dapat mulai makan pada material organik yang membusuk. Pada tahap ini larva muda akan sangat rentan terhadap pengaruh faktor eksternal, termasuk di antaranya terhadap suhu, tekanan oksigen yang rendah, jamur, kandungan air, dan bahan beracun. Ketahanannya terhadap faktor-faktor tersebut akan meningkat setelah berumur sekitar 1 minggu (berukuran sekitar 5-10 mg). Setelah berumur 10 hari, larva-larva ini akan mampu bersaing dengan lainnya yang lebih tua dalam inkubator pengembangbiakan. Setelah menetas, mulai dari fase larva hingga mencapai tahap prepupa, BSF mampu mereduksi hingga kurang lebih 55% sampah yang diberikan (Diener, 2010).

Selama masa pertumbuhannya larva BSF mengalami 5 (lima) fase pergantian kulit (instar) dengan perubahan warna dari

putih krem sampai dengan berwarna cokelat kehitaman pada instar terakhir (Popa dan green, 2012). Dalam kondisi ideal larva BSF akan mencapai fase prepupa dan ukuran maksimum pada hari ke-14 setelah menetas, namun pada kondisi iklim tertentu bisa berlangsung hingga hari ke-30. Beberapa kondisi non ideal yang dapat menghambat pertumbuhan larva BSF antara lain suhu yang tidak optimal, kualitas makanan yang rendah nutrisi, kelembaban udara yang kurang, dan adanya zat kimia yang tidak cocok bagi larva. Pada kondisi normal larva BSF dewasa berukuran rata-rata 16-18 mm dengan berat antara 150-200 mg. Bahkan dalam beberapa kejadian, larva dewasa dapat mencapai ukuran 1 inci (27 mm) dengan berat sampai dengan 430 mg. Larva BSF membutuhkan material organik mudah terurai sebagai makanannya seperti kompos, sampah, kotoran, bangkai hewan, sayuran dan buah-buahan busuk. Larva BSF lebih aktif mengurai sisa atau sampah yang diberikan dalam keadaan mulai membusuk. Hal ini membuat sampah yang di dalamnya terdapat banyak larva BSF tidak mengeluarkan bau tidak sedap yang terlalu mencolok.

c. Fase Pupa

Setelah berganti kulit hingga instar yang keenam, larva BSF akan memiliki kulit yang lebih keras daripada kulit sebelumnya, yang disebut sebagai puparium dimana larva mulai memasuki fase prepupa. Pada tahap ini, prepupa akan mulai bermigrasi untuk mencari tempat yang lebih kering dan gelap, sebelum mulai berubah menjadi kepompong. Pupa berukuran kira-kira dua pertiga dari prepupa dan merupakan tahap dimana BSF dalam keadaan pasif dan diam, serta memiliki tekstur kasar berwarna cokelat kehitaman. Selama masa perubahan larva menjadi pupa, bagian mulut BSF yang disebut labrum akan membengkok ke bawah seperti paruh elang, yang kemudian berfungsi sebagai kait bagi kepompong. Proses metamorfosis pupa menjadi BSF dewasa berlangsung dalam kurun waktu antara sepuluh hari sampai dengan beberapa bulan tergantung kondisi suhu lingkungan.

d. Lalat Dewasa

Panjang tubuh BSF dewasa adalah antara 12-20 mm dengan rentang sayap selebar 8-14 mm. BSF dewasa berwarna hitam

dengan kaki berwarna putih pada bagian bawah dan memiliki antena (terdiri dari tiga segmen) dengan panjang 2 (dua) kali panjang kepalanya. Antara BSF betina dan BSF jantan memiliki tampilan yang tidak jauh berbeda, dengan ukuran tubuh BSF betina yang lebih besar dan ukuran ruas kedua pada perutnya yang lebih kecil dibanding pada BSF jantan.

BSF dewasa berumur relatif pendek, yaitu 4-8 hari. BSF dewasa tidak membutuhkan makanan, namun memanfaatkan cadangan energi dari lemak yang tersimpan selama fase larva. Hal ini membuat lalat BSF tidak digolongkan sebagai vektor penyakit. Lalat dewasa berperan hanya untuk proses reproduksi. BSF dewasa mulai dapat kawin setelah berumur 2 hari. Setelah terjadi perkawinan, BSF betina akan menghasilkan sebanyak 300-500 butir telur dan meletakkannya di lokasi yang lembab dan gelap, seperti pada kayu lapuk.

Suhu optimum bagi BSF untuk bertelur secara alami di alam adalah sekitar 27,5-37,5°C (Sheppard *et al.*, 1994), sedang di penangkaran terjadi pada suhu lebih dari 24,4°C. Hasil penelitian menunjukkan kelembaban udara optimum yang baik untuk BSF betina dapat bertelur adalah antara 30-90%. Hal ini dikarenakan BSF bersifat sangat mudah dehidrasi, sehingga dibutuhkan kelembaban udara yang cukup. Namun dengan tersedianya pasokan air pada sangkar penangkaran agar BSF dapat minum, kelembaban udara yang dapat ditolerir pada kondisi kurang lebih 20%. Gambar 2.1 yang menampilkan siklus metamorfosis BSF, mulai dari telur hingga menjadi BSF dewasa.



Gambar 2.1 Siklus Hidup BSF (Popa dan Green, 2012)

## 2.2.2 Komposisi kimia tubuh larva BSF

Kadar air pada tubuh larva BSF menurun seiring pertumbuhannya dan paling rendah pada fase pupa. Kulit kering dari BSF dan larva mati yang diperoleh kemudian dapat dimanfaatkan sebagai campuran bahan pakan ternak.

Hasil analisis kimia menunjukkan BSF kaya akan protein dan lemak yang bernilai ekonomi untuk pembuatan pakan ternak. Selain itu lemak dari larva BSF juga dapat dimanfaatkan sebagai biodiesel. Diperkirakan bahwa biodiesel dari larva BSF yang digunakan untuk mendegradasi kotoran hewan memiliki nilai energi yang sebanding dengan gas metana ( $\text{CH}_4$ ) yang dihasilkan kotoran hewan yang didegradasinya. Tidak ketinggalan, prepupa dan pupa BSF juga memiliki kandungan kalsium (Ca) dan fosfor (P) yang kaya. Kandungan kimia pada tubuh BSF dapat dilihat pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Kandungan Kimia pada Tubuh Larva BSF

Kandungan kimia	Persentase komponen (%) pada:		
	Larva prematur	Pre-pupa	Pupa
Protein	17,30	36 - 48	42,10
Lemak	9,40	28 - 35	34,80
Kalsium	0,82	5,00	5,00
Fosfor	0,54	0,88 – 1,51	1,50

Tabel 2.4 *Lanjutan*

Kandungan kimia	Persentase komponen (%) pada:		
	Larva prematur	Pre-pupa	Pupa
Debu	~15	14,60 – 16,60	14,60
Nilai Kalori	-	3,51 – 5,95	-

Sumber : Popa dan Green, 2012

Meskipun memperoleh energi dari material berkualitas rendah seperti kotoran hewan, sampah makanan, bangkai hewan, dan jenis sampah organik lainnya, BSF mampu berkembangbiak dengan sangat baik. Kandungan asam amino yang terdapat pada tubuh larva BSF dapat dilihat pada Tabel 2.5.

Tabel 2.5 Kandungan Asam Amino pada Tubuh Larva BSF

Asam Amino Esensial	%	Asam Amino Non Esensial	%
Asparagine*	NA	Alanine	2,55-3,7
Isoleucine	1,51-2,0	Arginine*	1,77-2,2
Leucine	2,61-3,5	Aspartate	3,04-4,6
Lysine	2,21-3,4	Cysteine*	0,1-0,31
Methionine	0,83-0,9	Glutamate	3,8-3,99
Phenylalanine	1,49-2,2	Glutamine*	NA
Threonine	0,6-1,41	Glycine*	2,07-2,9
Tryptophan	0,2-0,59	Proline*	2,12-3,3
Valine	2,23-3,4	Serine	0,1-1,47
Histidine	0,96-1,9	Tyrosine*	2,38-2,5
* Dalam beberapa laporan, disebut sebagai asam amino esensial			
NA: Belum dilakukan pengukuran			

Sumber : Popa dan Green, 2012

### 2.2.3 Pemanfaatan BSF

Beberapa pemanfaatan yang telah dilakukan terhadap larva BSF yang telah dilakukan saat ini (Popa dan Green, 2012) adalah sebagai berikut:

- Pengelolaan kotoran hewan
- Daur ulang sisa makanan
- Daur ulang limbah cair domestik dan tinja
- *Composting*
- Alternatif bahan pakan ternak untuk peternakan
- Bahan pembuatan biodiesel

### 2.3 Reduksi Sampah Organik dengan Larva *Black Soldier Fly* (BSF)

Sampah dan sisa makanan merupakan masalah utama penyebab polusi di seluruh dunia (Kim *et al.* 2011). Meskipun minimalisasi timbunan sampah makanan merupakan pilihan terbaik yang dapat dilakukan, pengelolaan sampah organik dengan memanfaatkan mikroorganisme dan serangga (Diener *et al.*, 2009) juga pantas untuk dipertimbangkan (Kim *et al.*, 2011). Hal ini dikarenakan, proses daur ulang juga penting untuk menjaga keberlanjutan lingkungan hidup (Kim *et al.*, 2011).

Konversi materi organik oleh larva BSF merupakan teknologi daur ulang yang sangat menarik dan memiliki potensi ekonomi (Diener, 2010). BSF dianggap menguntungkan, karena larva BSF memanfaatkan sampah organik baik dari hewan, tumbuhan, maupun dari kotoran hewan dan kotoran manusia sebagai makanannya dan meningkatkan nilai *recycle* dari sampah organik (Kim *et al.*, 2011). Beberapa penelitian juga menunjukkan larva BSF mampu mendegradasi sampah organik, baik dari hewan maupun tumbuhan lebih baik dibanding serangga lainnya yang pernah diteliti (Kim *et al.*, 2011). Larva BSF juga diketahui memiliki rentang jenis makanan yang sangat variatif. Larva BSF dapat memakan kotoran hewan, daging segar maupun yang sudah membusuk, buah, sampah restoran, sampah dapur selulosa, dan berbagai jenis sampah organik lainnya (Alvarez, 2012). Selain itu, keberadaan larva BSF dinilai cukup aman bagi kesehatan manusia. Disamping dapat mengurangi populasi lalat rumah, juga dapat mereduksi kontaminasi limbah terhadap bakteri patogenik *Escherichia coli* (Newton *et al.* 1995).

Dilihat dari sudut pandang pengelolaan sampah, keuntungan pemanfaatan BSF untuk reduksi sampah yaitu tidak perlunya memisahkan antara sampah hewani maupun sampah nabati (Žáková dan Borkovcová, 2013). Larva BSF akan memakan segala jenis sampah organik baik dari hewan maupun dari tumbuhan (Bullock *et al.*, 2013). Salah satu percobaan pada skala laboratorium yang telah dilaksanakan menunjukkan BSF memiliki potensi pengelolaan sampah organik yang cukup tinggi, khususnya sampah sisa makanan yang mencapai persen reduksi 46,04 % (Žáková dan Borkovcová, 2013). Pada percobaan yang dilakukan Diener *et al.* (2011) menunjukkan persentase reduksi



sampah yang menakjubkan yaitu antara 65,5-78,9%, tergantung pada banyaknya sampah yang ditambahkan dan tersedia atau tidaknya sistem drainase.

Setelah menetas, larva BSF akan mulai memakan sampah yang diberikan, sampai pada tingkat reduksi hampir 55% berdasarkan berat bersih sampah (Diener, 2010). Larva BSF tidak memiliki jam istirahat, namun mereka juga tidak makan sepanjang waktu (Alvarez, 2012). Kadar air optimum pada makanan larva BSF adalah antara 60-90% (Alvarez, 2012). Ketika kadar air sampah yang diberikan terlalu tinggi akan menyebabkan larva keluar dari reaktor pembiakan, mencari tempat yang lebih kering. Namun, ketika kadar airnya juga kurang akan mengakibatkan konsumsi makanan yang kurang efisien pula (Alvarez, 2012). Sementara suhu makanan yang diberikan optimum pada angka 27-33°C (Alvarez, 2012), namun demikian pada suhu yang lebih rendah larva BSF tetap dapat bertahan karena adanya asupan panas dari sampah yang dimakannya (Alvarez, 2012). Ketika larva mencapai tahap dewasa, larva BSF akan mampu mengurai sampah organik dengan sangat cepat dan menekan pertumbuhan bakteri serta mengurangi bau tidak sedap yang ada pada sampah dengan sangat baik (Diener, 2010). Selain itu, keuntungan tambahan yang diperoleh dari BSF adalah kemampuannya untuk mengusir lalat rumah yang merupakan vektor penyakit menular yang banyak di negara berkembang (Diener, 2010).

Dalam pemanfaatan larva BSF dalam reduksi sampah melalui pengembangbiakan BSF harus memperhatikan faktor-faktor di bawah ini:

- Pola makan larva BSF  
Larva BSF umumnya memiliki ciri makan searah horizontal dengan makanannya. Namun terkadang larva BSF akan bergerak secara vertikal untuk mengekstrak nutrient yang terdapat pada lindi yang dihasilkan dari pembusukan sampah makanan yang diberikan.
- Ketersediaan oksigen yang cukup pada tempat pembiakan  
Larva BSF membutuhkan oksigen untuk bernapas dan sangat tidak dapat hidup pada kadar karbondioksida yang tinggi. Pada saat kadar karbondioksida pada reaktor pembiakan tinggi, maka larva BSF akan berusaha keluar dan mencari sumber

oksigen. Hal ini sering menyebabkan keluarnya larva BSF meskipun belum mulai berubah menjadi prepupa.

- Kadar air sampah (makanan larva)  
Kadar air sampah mempengaruhi waktu konsumsi larva terhadap sampah yang diberikan. Larva BSF akan optimum mengkonsumsi sampah yang diberikan pada rentang 60-90%. Semakin tinggi kadar air dalam sampah yang diberikan membuat larva BSF cenderung untuk keluar dari reaktor pembiakan, mencari tempat yang lebih kering. Namun kurangnya kadar air juga tidak baik karena menghambat proses pencernaan larva BSF.
- Ketersediaan cahaya  
Larva BSF merupakan hewan fotofobia. Pada fase larva mereka cenderung menjauhi sumber cahaya. Pada tahap prepupa mereka akan keluar secara alami dari reaktor pembiakan, dan mencari tempat kering dan berlindung yang gelap sebelum berubah menjadi kepompong.

Pada kondisi ideal dan tersedianya pasokan makanan (sampah organik), larva BSF dapat matang dalam waktu 2 minggu. Namun pada kondisi kurang pasokan makanan dan terlalu rendahnya temperatur dapat memperpanjang waktu pematangan larva, yang bisa mencapai waktu 4 (empat) bulan (Diener, 2010). Tiga faktor yang mempengaruhi pertumbuhan larva BSF dan kapasitas reduksi sampahnya (Diener *et al.*, 2011) adalah:

- Tingginya tingkat kematian larva akibat naiknya konsentrasi Zn pada sampah yang diberikan serta kondisi anaerobik di dalam reaktor.
- Sedikitnya jumlah telur BSF yang subur akibat keracunan yang ditimbulkan konsentrasi Zn yang tinggi pada reaktor.
- Terbatasnya akses untuk mencapai makanan akibat penyumbatan oleh cairan lindi pada reaktor percobaan.

### **2.3.1 Kandungan biokimia enzim pencernaan larva BSF**

Berbagai penelitian menunjukkan larva BSF mampu mengekstrak sampah organik dengan sangat efektif dibanding dengan serangga atau hewan lainnya (Kim *et al.*, 2011). Penelitian Kim *et al.* (2011) dengan metode API ZYM *enzyme assay* menunjukkan kemampuan tersebut diperoleh karena lebih tingginya kadar enzim pencernaan yang terdapat pada mulut

larva BSF dibanding pada kelenjar pencernaannya. Analisis kualitas dan kuantitas yang telah dilakukan menunjukkan larva BSF memiliki enzim pencernaan yang lebih variatif dibanding pada lalat rumah. Lebih banyaknya kandungan enzim pencernaan ini membuat larva BSF mampu mencerna sampah makanan dan sampah organik lainnya dengan sangat baik. Diketahui bahwa tingkat aktifitas dari enzim leusin arilamidase,  $\alpha$ -galaktosidase,  $\beta$ -galaktosidase,  $\alpha$ -mannosidase,  $\alpha$ -fukosidase yang terdapat pada larva BSF lebih tinggi dibanding pada larva lalat rumah. Perbandingan aktifitas enzim pencernaan pada larva BSF dan larva lalat rumah dapat dilihat pada Tabel 2.6.

Tabel 2.6 Perbandingan Aktifitas Enzim Pencernaan Pada Kelenjar Ludah dan Mulut Larva BSF dan Lalat Rumah Menggunakan Metode API ZYM Enzyme Assay

Enzim	<i>H. illucens</i>		<i>Musca domestica</i>	
	Kelenjar Ludah	Mulut	Kelenjar Ludah	Mulut
Kontrol	0	0	0	0
Alkali fosfatase	1	5	1	5
Esterase	3	3	3	3
Esterase lipase	3	5	3	5
Lipase	1	5	0	5
Leusin arilamidase	5	5	2	5
Valin arilamidase	0	5	0	5
Kristin arilamidase	0	5	0	5
Tripsin	0	4	1	4
$\alpha$ -kimotripsin	0	1	0	1
Asam fosfatase	4	5	3	5
Neftol-AS-BI-fosfohidrolase	2	5	2	5
$\alpha$ -galaktosidase	0	4	0	1
$\beta$ -galaktosidase	3	5	0	5
$\beta$ -glukuronidase	0	1	0	1
$\alpha$ -glukosidase	3	5	2	5
$\beta$ -glukosidase	0	1	1	1
N-asetil- $\beta$ -glukoaminidase	2	5	2	5
$\alpha$ -mannosidase	0	4	0	1
$\alpha$ -fukosidase	3	3	0	1

Sumber: Kim *et al.*, 2011

### 2.3.2 Indeks reduksi sampah oleh larva BSF

Menentukan tingkat reduksi sampah oleh larva BSF dipengaruhi oleh 2 (tiga) faktor, yaitu tingkat degradasi sampah dan waktu yang diperlukan untuk mendegradasi sampah. Tingkat degradasi dipengaruhi oleh jumlah sampah sebelum terdegradasi dan jumlah sisa yang tidak terdegradasi, yang dapat dilihat di persamaan (2.3). Diener (2010) mendefinisikan tingkat reduksi sampah oleh larva BSF sebagai *waste reduction index* (WRI) dengan persamaan (2.2).

$$WRI = \frac{D}{t} \times 100 \quad (2.2)$$

$$D = \frac{W-R}{W} \quad (2.3)$$

Dimana:

WRI	= Indeks reduksi sampah
D	= tingkat degradasi sampah
t	= waktu yang diperlukan untuk mendegradasi sampah
W	= jumlah sampah sebelum terdegradasi
R	= jumlah residu

### 2.3.3 Laju konsumsi sampah

Laju konsumsi sampah atau waste reduction rate (WCR) merupakan salah satu parameter rancang yang penting untuk perencanaan fasilitas ke depannya. Laju konsumsi sampah dapat diperoleh dari perbandingan nilai estimasi jumlah belatung (larva) dengan jumlah makanan yang ditambahkan di dalam reaktor dan waktu konsumsi yang diperlukan. Persamaan ini dapat diformulasikan sebagai persamaan (2.4).

$$WCR = \frac{\text{banyak sampah}}{\text{jumlah larva} \times \text{waktu konsumsi}} \quad (2.4)$$

### 2.3.4 Laju konsumsi harian sampah

Menggunakan nilai berat kering dari sampel sampah, laju konsumsi harian sampah (DCR) dari larva BSF dapat ditentukan melalui persamaan (2.5).

$$DCR = \frac{\text{Jumlah sampah yang ditambahkan}}{\text{rentang hari penambahan}} \quad (2.5)$$

Berdasarkan persamaan laju konsumsi sampah harian per larva (DCRM) yang dihitung melalui persamaan (2.6).

$$DCRM = \frac{DCR}{\text{jumlah larva}} \quad (2.6)$$

### 2.3.5 Nilai reduksi materi kering

Menggunakan berat total makanan yang ditambahkan selama fase larva dan berat residu sampah yang tersisa pada akhir siklus, nilai reduksi materi kering (DMR) dihitung dalam persen dengan persamaan (2.7).

$$\%DMR = \frac{\text{Berat kering total diberi} - \text{Berat kering sisa}}{\text{Berat kering total diberi}} (2.7)$$

Nilai %DMR kemudian digunakan untuk menghitung nilai koreksi DCRM yang digunakan untuk menghitung residu di dalam reaktor setelah siklus fase larva selesai melalui persamaan (2.8).

$$cDCRM = \frac{DCRM \times \% DMR}{100} \quad (2.8)$$

Nilai koreksi DCRM dari tiap pemberian makanan kemudian dicari rata-ratanya untuk menentukan DCRM untuk satu siklus makan per basis larva.

## 2.4 Penelitian Terdahulu

Berbagai penelitian mengenai pemanfaatan larva BSF sebagai upaya mereduksi sampah organik telah banyak dilakukan. Žáková dan Borkovcová (2013) memperoleh persentase reduksi sampah makanan oleh larva BSF mencapai 46,04 %. Sementara Diener *et al.* (2011) memperoleh hasil mencapai 65,5 % sampai 78,9 %, tergantung pada jumlah makanan yang diberikan.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## **BAB 3**

### **METODE PENELITIAN**

#### **3.1 Gambaran Umum Penelitian**

Metode penelitian merupakan suatu susunan langkah teknis terstruktur yang dijadikan sebagai acuan pelaksanaan penelitian, mulai dari tahap timbulnya masalah hingga analisis dan pembahasan. Penyusunan metodologi penelitian harus dibuat secara detail untuk memudahkan pelaksanaan penelitian dengan lebih efektif dan terarah, serta tidak menyimpang dari tujuan awal pelaksanaan penelitian. Metode penelitian meliputi ide awal penelitian, tahapan pelaksanaan penelitian, pembahasan hasil percobaan, sampai pada penarikan kesimpulan berdasarkan percobaan yang telah dilakukan.

Penelitian dilaksanakan dengan metode percobaan skala laboratorium yang dilaksanakan di *Workshop* Penelitian dan di Laboratorium Pengolahan Limbah Padat dan B3 Jurusan Teknik Lingkungan, FTSP-ITS. Penelitian dilaksanakan dalam kurun waktu 2 bulan (60 hari) dengan waktu *running* penelitian selama 24 hari dan dengan 3 (tiga) replikasi. Hasil akhir yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah mengetahui persen reduksi sampah organik melalui pemanfaatan larva *Black Soldier Fly* (BSF). Persentase reduksi yang diperoleh kemudian digunakan untuk melihat potensi pemanfaatan larva BSF sebagai salah satu upaya reduksi sampah makanan di daerah perkotaan.

#### **3.2 Kerangka Penelitian**

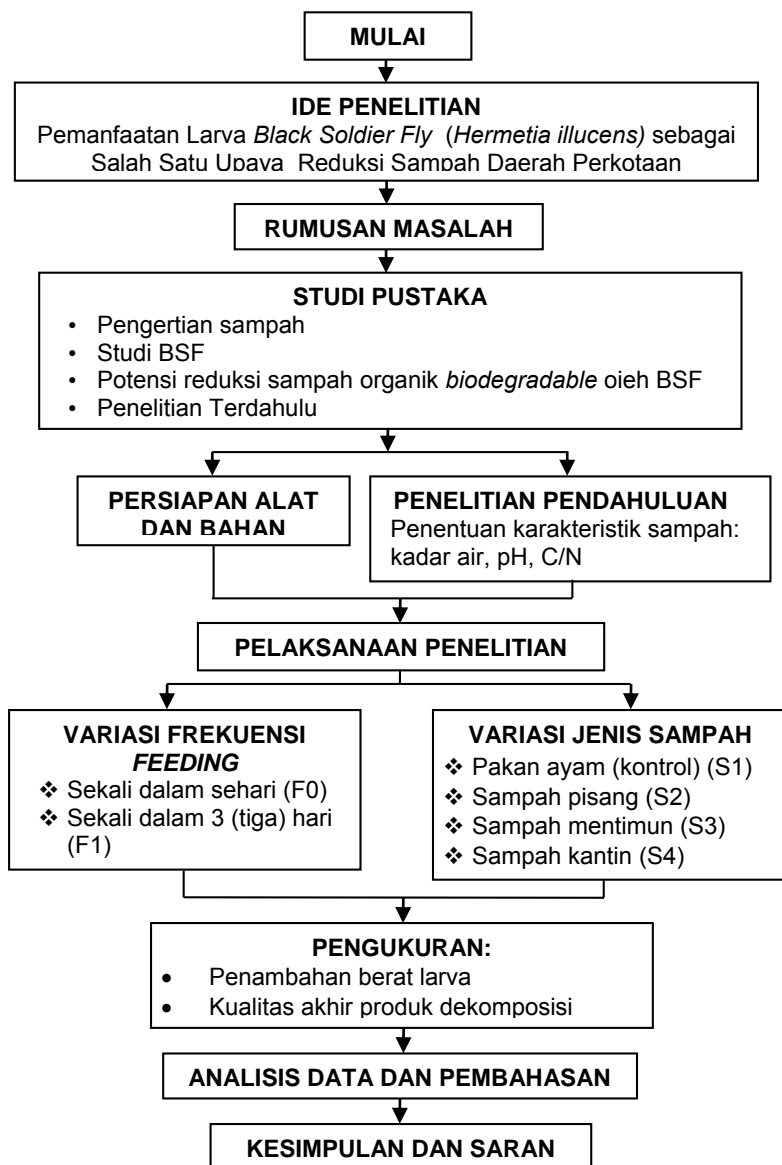
Kerangka penelitian merupakan gambaran umum pelaksanaan penelitian, yang disusun secara berurut berdasarkan tahapan pelaksanaan penelitian untuk mencapai tujuan akhir yang diinginkan. Penyusunan kerangka penelitian harus didasarkan pada studi literatur yang dilakukan, baik dari jurnal ilmiah, buku teks, laporan tugas akhir, yang mendukung pada penelitian pemanfaatan larva *Black Soldier Fly* (BSF) untuk reduksi sampah makanan.

Tujuan dibuatnya kerangka penelitian adalah sebagai gambaran umum tahapan pelaksanaan penelitian dan memberikan informasi terkait dengan penelitian guna memudahkan pelaksanaan penelitian untuk mencapai tujuan yang

diinginkan. Pembuatan kerangka penelitian juga penting untuk meminimalisasi kesalahan yang dapat menghambat pelaksanaan penelitian.

Kerangka penelitian yang akan dilaksanakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.1.





Gambar 3.1 Diagram Alir Kerangka Penelitian

### 3.3 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian merupakan bagian yang berisikan langkah-langkah yang harus dilakukan selama pelaksanaan penelitian. Bagian ini merupakan penjabaran dari kerangka penelitian yang dibuat lebih detail dan terstruktur. Pembuatan tahapan pelaksanaan penelitian yang terstruktur ini akan memudahkan peneliti dalam melaksanakan penelitiannya, sehingga peneliti tidak menyimpang dari tujuan dan sasaran awal penelitian serta akan memberikan hasil penelitian yang baik. Tahapan penelitian dimulai dari ide penelitian, penelitian pendahuluan, persiapan penelitian, pelaksanaan penelitian, pengumpulan data, tahapan analisis dan pembahasan, yang diakhiri dengan dengan penarikan kesimpulan dan pemberian saran.

#### 3.3.1 Ide penelitian

Ide dari penelitian ini adalah pemanfaatan larva *Black Soldier Fly* (BSF) atau *H. illucens* (Diptera: Stratiomyidae) sebagai salah satu upaya reduksi sampah organik *biodegradable* di daerah perkotaan. Ide penelitian ini muncul didasarkan pada kurangnya minat dan upaya pemanfaatan sampah organik, khususnya sampah makanan. Padahal timbulan sampah paling tinggi berasal dari sampah organik. Keadaan ini membuat sampah organik langsung dibuang ke TPA tanpa ada pemanfaatan ataupun pengolahan. Tindakan ini tidak saja menambah beban TPA, tetapi juga meningkatkan produksi lindi dan gas rumah kaca.

#### 3.3.2 Studi literatur

Studi literatur dilakukan guna mengumpulkan informasi dan data yang mendukung penelitian pemanfaatan larva BSF dalam mereduksi sampah organik *biodegradable*. Studi literatur ini akan memuat informasi yang dapat mendukung perlakuan, kejadian, analisis, dan pembahasan dari penelitian yang akan dilakukan. Studi literatur dilakukan dengan memanfaatkan jurnal ilmiah, buku teks, laporan tugas akhir, dan sumber lain yang valid dan legal yang berhubungan dengan pemanfaatan larva BSF untuk reduksi sampah organik, khususnya sampah makanan. Studi literatur dilakukan mulai dari pembuatan proposal tugas akhir sampai pada penyelesaian laporan akhir.

### 3.3.3 Persiapan penelitian

Persiapan penelitian dilakukan dengan mempersiapkan segala alat dan bahan yang diperlukan selama penelitian. Alat yang dipersiapkan yaitu segala keperluan pembuatan reaktor dan keperluan selama pelaksanaan penelitian. Bahan yang diperlukan yaitu sampah organik *biodegradable* yang banyak terdapat di masyarakat. Berikut merupakan rincian alat dan bahan yang diperlukan selama penelitian.

#### a. Alat yang diperlukan

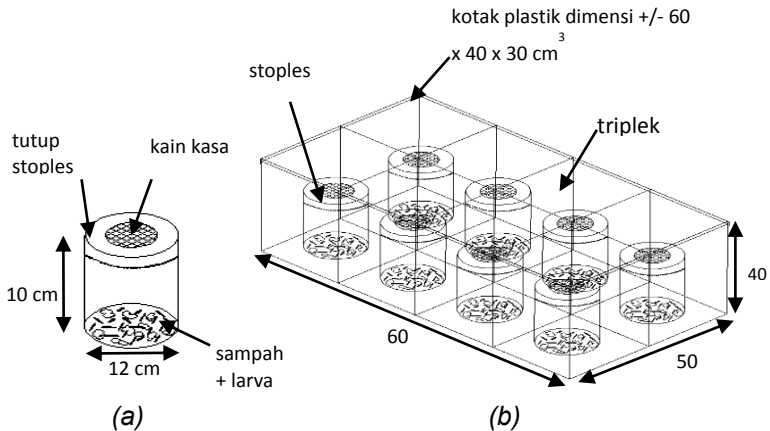
1. Wadah plastik berukuran medium (volume 1 L) sebanyak 24 buah sebagai reaktor
2. Pinset
3. Ember ukuran 20 L sebagai tempat pengumpul sampah
4. Kuas ukuran kecil
5. Plastik dengan *zipper* (ukuran medium dan kecil)
6. Kotak plastik ukuran besar ukuran 50 x 30 x 15 cm<sup>3</sup> sebagai tempat menaruh reaktor, sehingga terlindungi dari lalat jenis lain, tikus, ataupun pengganggu lainnya
7. Kain kasa untuk penutup stoples berisi larva BSF
8. Kawat kasa untuk menutup rak penempatan reaktor
9. Gunting
10. Lem
11. Marker/spidol
12. Sendok (ukuran besar dan biasa)
13. *Furnace*, oven, dan desikator
14. Cawan porselen dan/atau cawan petri sebagai wadah sampah ketika dioven
15. Termohigrometer untuk mengetahui suhu dan kelembaban udara di lokasi pembiakan larva
16. Neraca analitik untuk mendapatkan berat kering sampah
17. *Freezer* untuk menyimpan sampel sampah
18. *Blender* untuk menghaluskan sampah dan pakan ayam
19. Baut
20. Rak untuk menaruh reaktor
21. Kertas label

#### b. Bahan yang diperlukan

1. Larva BSF umur 1 (satu) minggu
2. Sampah makanan berupa :
  - Sampah pasar berupa mentimun dan buah pisang

- Sampah rumah makan yang berasal dari kantin TL dan warung makan di Keputih
- Pakan ayam

Sebagai gambaran reaktor yang akan digunakan dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 (a) Reaktor Pembiakan Larva BSF;  
(b) Kotak Penyimpan Reaktor

### 3.3.4 Penelitian pendahuluan

Penelitian pendahuluan dilakukan untuk memperoleh data pendukung yang diperlukan pada penelitian. Data tersebut yaitu karakteristik sampah berupa data kadar air, pH awal, dan nilai kandungan organik C dan N dari tiap jenis sampah. Kadar air sampah diperoleh dari pengukuran berat kering sampah. Kadar air perlu diketahui untuk menghitung berat basah kebutuhan makanan larva untuk tiap jenis sampah. Pengukuran berat kering dilakukan dengan pemanasan dengan oven selama 24 jam pada suhu 105°C. Berat akhir yang diperoleh dari pemanasan dijadikan sebagai data berat kering (Diener, 2010). Pengukuran pH awal sampah diperlukan untuk menentukan pengaruh dekomposisi larva BSF terhadap pH sampah. Pengujian kandungan C dan N awal sampah perlu dilakukan untuk menentukan pengaruh dekomposisi larva BSF terhadap nilai nilai C/N dari sampah dan untuk menentukan potensi pemanfaatan residu yang dihasilkan.

### 3.3.5 Pelaksanaan penelitian

Penelitian akan dilakukan dengan waktu *running* selama 24 hari per replika. Selama 24 hari larva akan diberi makanan sesuai porsi yang disediakan dan dihentikan di hari ke-25. Pakan ayam sebagai bahan makanan larva akan dijadikan sebagai kontrol di tiap tahapnya. Prosedur pelaksanaan percobaan yang akan dilakukan pada kedua tahap ini adalah sama.

❖ **Pembiakan BSF di kantor *FORWARD* Sidoarjo**

Sebelum memperoleh larva BSF yang digunakan dalam penelitian ini tentunya diperlukan upaya pembiakan BSF. Pembiakan BSF dilakukan di kantor *FORWARD* di kawasan Citra Garden, Sidoarjo. Pembiakan BSF dimulai dari awal Juli 2014.

Pembiakan BSF dilakukan dengan menyediakan reaktor tempat pertumbuhan telur, reaktor tempat pertumbuhan larva, dan kandang untuk reproduksi lalat dewasa. Sebagai media tempat telur disediakan batangan kayu yang diberi lubang pada sisinya atau dengan menggunakan kertas karton yang ditempel beberapa lapis. Telur yang sudah diletakkan oleh BSF dewasa di media tersebut kemudian ditempatkan di reaktor kosong dan diberi tanda berdasarkan waktu pengumpulannya. Media telur diperiksa setiap hari, untuk mengecek bilamana telur sudah menetas. Larva mulai diberi makan bila telur yang menetas di dalam reaktor sudah banyak yang menetas menjadi larva. Makanan awal yang diberikan adalah pakan ayam yang telah dicampur dengan air. Waktu pengumpulan telur dan waktu tetas (pada saat mulai diberi makan) dicatat pada reaktor yang digunakan sebagai kontrol umur larva. Setiap reaktor yang digunakan diisi dengan larva yang sama tanggal waktu tetasnya, sehingga dapat diketahui umur larva tiap reaktor.

Selama pertumbuhannya larva yang dikembangbiakan diberi makanan yang beragam, mulai dari sampah rumah makan, sampah buah, dan sampah sayur. Pemberian makanan yang dilakukan di kantor *FORWARD* belum berdasarkan kebutuhan per larvanya, hanya sebatas jumlah yang tersedia dianggap masih cukup atau tidak. Setelah larva berubah menjadi prepupa dan mulai keluar dari reaktor tempat makannya, prepupa dikumpulkan dan dipindahkan

ke dalam kadang lalat dewasa. Di dalam kandang telah disediakan tempat untuk pertumbuhan prepupa berupa serabut kelapa dan daun-daunan kering, karena diketahui prepupa dan pupa menyukai tempat kering dan gelap. Sumber air di dalam wadah juga disediakan untuk lalat dewasa minum dan mengurangi suhu di dalam kandang dengan adanya penguapan serta tanaman hijau sebagai tempat hinggap lalat dewasa.

Kandang yang digunakan terbuat dari kain kasa yang dipasang pada rangka besi berukuran kurang lebih 2 meter x 1 meter. Menghindari adanya semut yang masuk ke dalam kandang, kaki kandang diletakkan pada cangkir plastik kosong di dalam wadah mangkok aluminium berisi air.

❖ Pengumpulan sampel sampah

Sampah yang digunakan ada 3 jenis, yaitu sampah buah pisang, sampah mentimun, dan sampah makanan dari kantin. Sampah buah pisang dan sampah mentimun yang digunakan adalah yang masih ada daging buahnya yang sudah membusuk dan tidak layak dikonsumsi lagi. Pemilihan jenis sampah ini didasarkan pada pengamatan di lapangan yang menunjukkan ketiga jenis sampah tersebut cukup banyak dibuang tanpa pemanfaatan. Selain itu ketiga jenis sampah ini bukan merupakan sampah yang bersifat musiman, sehingga menjadi salah satu jenis sampah organik yang selalu ada.

Sampah dikumpulkan langsung dari sumbernya dengan menggunakan ember plastik dan dibawa langsung ke tempat pelaksanaan penelitian. Sampah dipastikan tidak tercampur dengan sampah non organik seperti plastik, yang dapat mempengaruhi hasil akhir percobaan. Cabai dan sayur kubis yang terdapat di dalam sampah juga sebaiknya dibuang. Penelitian pendahuluan di kantor FORWARD-Sidoarjo menunjukkan larva BSF tidak menyukai kedua jenis makanan tersebut dan bahkan dapat mengakibatkan kematian pada larva BSF.

Sampah yang akan disimpan di dalam *freezer* diambil berdasarkan perhitungan kebutuhan larva untuk waktu 24 hari dengan tambahan 20% sebagai antisipasi adanya kesalahan selama pelaksanaan. Kebutuhan sampel

sampah untuk waktu 3 (tiga) minggu didasarkan pada contoh perhitungan (3.1)

Diketahui: Porsi per larva: 40 mg/hari (berat kering)  
              banyak larva per reaktor (n) = 200 ekor  
              3 (tiga) replika dengan dua perlakuan  
Ditanya: Kebutuhan sampah total (24 hari, berat kering)

Jawab :

Kebutuhan berat kering per reaktor  
= 40 mg/larva/hari x 200 larva  
= 8000 mg/hari  
= 8 gr/hari

Sampel = 2 perlakuan dengan triplikasi

Diperoleh,

Kebutuhan sampah perhari (berat kering)  
= 8 gr/hari x 2 x 3  
= 48 gr/hari

Waktu *running*: 24 hari

kebutuhan sampah total (berat kering)  
= 48 gr/hari x 24 hari  
= 1152 gr  
= 1,152 kg

Sehingga kebutuhan sampah yang disiapkan

Total sampah = 1,152 kg + (20% x 1,152 kg)  
= 1,382 kg  $\approx$  1,4 kg

- ❖ Pengukuran berat kering dan kebutuhan sampel  
Berat kering sampah diketahui melalui pemanasan sejumlah sampel sampah pada oven dengan suhu 105°C selama 24 jam. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan neraca analitik, untuk mendapat nilai yang presisi. Data berat kering ini akan digunakan untuk menghitung persen kadar air pada sampah yang diukur. Persen kadar air ini kemudian digunakan untuk menghitung berat basah kebutuhan makanan larva BSF berdasarkan persamaan (2.1). Hasil perhitungan akan digunakan sebagai data berat (dalam berat kering) dari sampah yang diperlukan selama pelaksanaan penelitian untuk 3 (tiga) kali replikasi. Metode analisis kadar air sampel dapat dilihat di Lampiran

1. Sesuai kebutuhan makanan berdasarkan berat kering yaitu rata-rata 40 mg/larva.hari (Diener, 2010), dapat dihitung kebutuhan sampah yang diperlukan per harinya berdasarkan berat basahnya. Perhitungan berat basah sampah disesuaikan dengan contoh hitungan (3.2) di bawah ini.

Diketahui: Berat Kering (BK)= 40 mg/larva.hari

Kadar Air (% air)= y % = y/100

Banyak larva/wadah (n)= 200 ekor larva

Ditanya: Berat basah (TB) perhari = ? mg/hari

Jawab:  $\%air = \frac{BB-BK}{BB} \times 100 \%$

$$BB - BK = \left[ \left( \frac{BB}{\%air} \times BB \right) / 100 \%\right]$$

$$BB - 40 \text{ mg/larva/hari} = (y/100 \times BB)$$

$$\frac{100+y}{100} BB = 40 \text{ mg/larva.hari}$$

$$BB = \frac{4000}{100+y} \text{ mg/larva.hari}$$

Sehingga diperoleh,

$$TB = BB \times n$$

$$TB = \frac{4000}{100+y} \text{ mg/larva.hari} \times 200 \text{ larva}$$

$$= \frac{800000}{100+y} \text{ mg/hari}$$

Hasil perhitungan kebutuhan berat basah sampah total perhari di atas digunakan sebagai total berat basah makanan larva BSF dalam 1 (satu) reaktor. Porsi makanan larva yang disiapkan adalah berdasarkan variasi frekuensi *feeding*, yaitu untuk porsi makan 1 (satu) kali sehari dan porsi makan 3 (tiga) kali sehari. Namun karena percobaan akan dilakukan dengan 3 (tiga) replikasi, maka porsi makanan yang disiapkan adalah berdasarkan frekuensi *feeding* dengan 3 (tiga) replika.

Mengurangi faktor *error* selama penelitian maka sampel sampah yang akan digunakan disimpan di dalam *freezer* agar kualitas dan komposisi sampah yang diberikan sama tiap kali *feeding*-nya. Selain dapat mengurangi waktu pengumpulan sampel, praktikan juga bisa lebih fokus pada pelaksanaan penelitian. Sampah pisang, sampah mentimun, dan sampah makanan dari kantin masing-masing akan diblender lebih dahulu sebelum dimasukkan ke



dalam *freezer*. Selain untuk menjaga homogenitasnya, juga agar perubahan fisik yang terjadi tidak terlalu besar selama di dalam *freezer*. Penyimpanan di dalam *freezer* dilakukan setelah masing-masing jenis sampah dibungkus dengan plastik ber-*zipper* sesuai porsi kebutuhan makanannya dalam berat basah untuk 24 hari. Menjaga adanya *human error* pada saat pelaksanaan penelitian, porsi makanan yang disiapkan dilebihkan dari kebutuhan pokok yang sudah dihitung (20% lebih banyak dari kebutuhan).

- ❖ Pemanfaatan sampah makanan sebagai pakan larva BSF  
 Penelitian akan dilakukan dengan 2 (dua) variabel dan menggunakan pengulangan perlakuan 3 kali (triplikasi). Variabel pertama berdasarkan jenis sampah dan variabel kedua berdasarkan frekuensi *feeding*. Pakan ayam digunakan sebagai kontrol, karena diketahui memberikan pertumbuhan yang amat baik bagi larva (Diener, 2010). Berdasarkan jumlah variabel dan banyak data yang digunakan, maka dibutuhkan sebanyak 24 reaktor. Data penggunaan reaktor dapat dilihat di Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Perlakuan Penelitian

Reaktor	Jenis Sampah	Jumlah Larva	Frekuensi Feeding	Jumlah Pengulangan
S1F0	Pakan ayam (kontrol)	200	Sekali dalam sehari	3
S2F0	Sampah pisang	200	Sekali dalam sehari	3
S3F0	Sampah mentimun	200	Sekali dalam sehari	3
S4F0	Sampah kantin	200	Sekali dalam sehari	3
S1F1	Pakan ayam (kontrol)	200	Sekali dalam tiga hari	3
S2F1	Sampah pisang	200	Sekali dalam tiga hari	3
S3F1	Sampah mentimun	200	Sekali dalam tiga hari	3
S4F1	Sampah kantin	200	Sekali dalam tiga hari	3
<b>JUMLAH REAKTOR TOTAL</b>				<b>24</b>

Jumlah larva yang dimasukkan untuk percobaan ini adalah sebanyak 200 ekor per reaktor dengan umur larva 1 (satu) minggu. Sehingga dengan kebutuhan 200 larva tiap reaktor pada 24 reaktor, diperlukan total 4800 ekor larva. Namun karena keterbatasan ketersediaan larva dengan umur yang sama, replikasi dilakukan di hari yang berbeda. Perlakuan ini akan memungkinkan pelaksanaan penelitian berlangsung dengan menggunakan larva BSF berumur sama yaitu 1 minggu. Larva BSF yang diambil dari kantor *FORWARD* adalah larva yang berumur tepat 1 minggu, berumur 6 hari, dan berumur 5 hari. Cukupnya jumlah larva dengan umur 6 hari memungkinkan replika kedua dan ketiga dilakukan sehari replika pertama. Sebelum dimasukkan ke dalam reaktor, berat awal total 200 larva di tiap reaktor ditimbang terlebih dahulu untuk dibandingkan di akhir percobaan. Tahap kedua penelitian akan dilakukan setelah tahap pertama selesai dilakukan.

Pemberian makanan kepada larva disesuaikan dengan umur larva dengan rata-rata makanan yang diberikan selama percobaan (24 hari) yaitu 40 mg/larva.hari. Porsi kebutuhan larva muda dengan larva dewasa yang diberikan berbeda untuk setiap rentang 6 hari. Porsi untuk frekuensi feeding sekali sehari yang diberikan yaitu 15 mg/larva.hari untuk 6 hari pertama; 35 mg/larva.hari untuk 6 hari kedua, 50 mg/larva.hari untuk 6 hari ketiga; dan 60 mg/larva.hari untuk 6 hari terakhir. Porsi untuk frekuensi feeding sekali dalam 3 hari diperoleh dengan mengalikan porsi kebutuhan sehari dengan 3 hari. Hasil perkaliannya diperoleh berat kebutuhan *feeding* yaitu 45 mg/larva.3hari untuk 6 hari pertama; 105 mg/larva.3hari untuk 6 hari kedua, 150 mg/larva.3hari untuk 6 hari ketiga; dan 180 mg/larva.3hari untuk 6 hari terakhir. Porsi yang diberikan tersebut didasarkan pada berat kering masing-masing sampah.

Selain pemberian makanan sesuai frekuensi dan kebutuhan makanannya, setiap harinya harus dilakukan kontrol rutin. Kontrol rutin mencakup pengukuran suhu dan kelembaban udara (Popa dan Green, 2012; Bullock *et al.*, 2013; Holmes *et al.*, 2012) di dalam tempat penelitian (*workshop* TL). Kontrol rutin juga dilakukan untuk mengamati perubahan

fisik pada sampah dan perubahan fisik pada larva seperti adanya larva yang mati, keluar dari wadahnya, ataupun larva yang sudah berubah menjadi prepupa. Setiap keadaan dan perubahan yang terjadi harus dicatat setiap harinya sebagai data untuk dianalisis pada saat pembuatan laporan. Mengatasi peningkatan suhu lebih dari suhu optimum tumbuh larva (36°C) pada saat pelaksanaan penelitian, di bawah kotak penyimpanan reaktor diletakkan wadah berisi air. Adanya wadah berisi air ini akan mengurangi panas di sekitar reaktor, sehingga suhu sekitar reaktor sesuai untuk tempat tumbuh larva. Selain itu keberadaan air di bawah kotak penyimpan reaktor ini dapat mencegah masuknya semut ke dalam reaktor.

Pengukuran pH sampah dilakukan di awal dan akhir percobaan dengan menggunakan pH meter. Pengukuran pH awal sampah dilakukan terhadap masing-masing sampah segar dan pH akhir menggunakan residu hasil dekomposisi masing-masing jenis sampah oleh larva BSF. Pengukuran pH ini diperlukan untuk melihat pengaruh penggunaan larva BSF pada perubahan pH yang mungkin terjadi pada sampah. Secara lengkap, prosedur pengukuran pH ini dapat dilihat di Lampiran 1.

Pengukuran berat tubuh larva dilakukan setiap tiga hari mulai awal hingga akhir waktu *running*. Pada awal dan akhir percobaan, berat tumbuh larva ditimbang secara keseluruhan (200 ekor larva). Pengukuran tiap 3 hari dilakukan terhadap 10% jumlah larva (20 ekor) saja (Ducharme *et al.* 1995; Diener *et al.*, 2011), sebagai representasi penambahan berat larva secara keseluruhan dalam satu reaktor. Sampel yang tertinggal di dalam reaktor sampai hari terakhir percobaan akan dijadikan sebagai data residu. Data residu yang diperoleh akan digunakan untuk menghitung tingkat reduksi sampah yang telah dilakukan oleh larva BSF selama masa percobaan (Diener, 2010).

Selama pelaksanaan penelitian tidak dapat dipastikan seluruh larva akan bertahan sampai akhir, dimana beberapa larva mungkin akan mati sebelum larva mencapai tahap prepupa (Myers *et al.*, 2008). Bila terjadi hal demikian, larva yang mati tidak perlu dikeluarkan dari dalam reaktornya.

Namun ketika kematian mencapai lebih dari 50% (dalam beberapa hari penelitian) percobaan dihentikan, karena hal tersebut mengindikasikan makanan yang diberikan tidak cocok bagi larva. Kematian pada larva saat percobaan juga dapat disebabkan terlalu tingginya suhu di lokasi penelitian atau adanya kandungan toksik pada makanan yang diberikan (Diener, 2010).

- ❖ Uji Kandungan Rasio C/N Sampah  
Pengukuran kandungan karbon (C) dan nitrogen (N) sampah akan dilakukan di awal dan akhir percobaan. Uji kandungan C dan N ini dilakukan untuk melihat tingkat degradasi yang mungkin terjadi terhadap kandungan C dan N dari sampel sampah yang digunakan oleh larva BSF. Selain itu perlakuan ini dilakukan untuk menentukan rasio C/N sampah pada akhir percobaan. Tujuan penentuan rasio C/N dari residu sampah ini adalah untuk melihat potensi pemanfaatan residu sebagai bahan untuk pengomposan. Syarat terjadinya pengomposan yang baik adalah rasio C/N sampah yaitu antara 25:1 sampai 40:1 (Rynk *et al.*, 1992). Berdasarkan nilai tersebut, pengujian rasio C dan N pada residu hasil dekomposisi sampah oleh larva BSF penting untuk dilakukan.  
Uji kandungan C dan N pada awal penelitian akan dilakukan untuk ketiga jenis sampah dan kontrol dengan satu sampel uji untuk tiap jenis sampah, sehingga diperoleh 4 data kandungan organik. Pengujian kandungan C dan N dari residu (akhir percobaan) akan dilakukan terhadap ketiga jenis sampah ditambah kontrol dari tiap pengulangan dan frekuensi *feeding* yang dilakukan. Data uji kandungan C dan N akhir (residu) ada sebanyak 24 data, sehingga total data uji kandungan C dan N sebanyak 28 data. Pengujian kandungan C dan N ini akan dilaksanakan di Laboratorium Pemulihan Air dan Laboratorium Sanitasi Lingkungan dan Fitoteknologi Jurusan Teknik Lingkungan ITS Surabaya. Prosedur pengujian kandungan organik terdapat pada Lampiran 1 pada laporan TA ini.

### **3.3.6 Pengumpulan data**

Pengumpulan data dilakukan setiap hari dalam suatu *log book*, guna mencatat setiap perlakuan dan perubahan yang diperoleh berdasarkan control rutin setiap harinya. Data dari *log book* yang diperoleh akan digunakan sebagai bahan untuk mengolah data mengenai tingkat reduksi sampah yang dilakukan larva BSF. Penggunaan *log book* ini bertujuan untuk menghindari kesalahan pengumpulan data yang akan berpengaruh pada hasil akhir penelitian nantinya. Pengumpulan data sekunder seperti jurnal dan literatur lain juga diperlukan sebagai data pendukung dan pembandingan yang mungkin dapat digunakan pada saat penulisan laporan.

### **3.3.7 Analisis data dan pembahasan**

Analisis dan pembahasan dari hasil penelitian ini dilakukan dengan metode analisis varians *Anova Two Way* berdasarkan tujuan awal penelitian yang dibuat. Analisis kemampuan larva dalam mendekomposisi sampah ditentukan berdasarkan tingkat reduksi yang dihasilkan pada tiap jenis sampah yang diberikan. Penentuan pengaruh tingkat pertumbuhan larva berdasarkan jenis makanan dan frekuensi *feeding* dilakukan berdasarkan berat akhir larva setelah waktu *running* selesai. Karakteristik hasil dekomposisi sampah oleh larva BSF dianalisis berdasarkan uji kadar air, uji pH, dan uji kandungan C/N dari residu yang dihasilkan. Analisis dan pembahasan data harus disesuaikan dengan studi literatur yang telah dilakukan sebagai pendukung maupun pembandingan hasil yang diperoleh. Semua faktor yang berpengaruh secara sengaja maupun tidak sengaja selama pelaksanaan penelitian harus dibahas secara detail untuk mendapatkan hasil analisis dan kesimpulan yang terbaik.

### **3.3.8 Kesimpulan dan saran**

Penarikan kesimpulan dilakukan setelah melakukan analisis data dan pembahasan. Kesimpulan dibuat dari hasil analisis berdasarkan tujuan yang dirumuskan pada awal penelitian. Penarikan kesimpulan harus didasarkan pada fakta yang diperoleh selama penelitian. Pemberian saran dilakukan untuk perbaikan dan pengembangan penelitian mengenai pemanfaatan BSF untuk reduksi sampah organik ke depannya.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

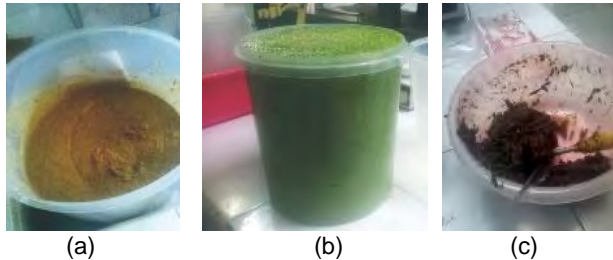
## **BAB 4**

### **ANALISIS DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1 Jenis Sampel**

Sampel sampah organik *biodegradable* yang digunakan ada 3 (tiga) jenis, yaitu sampah pisang, sampah mentimun, dan sampah kantin (Gambar 4.1). Sebagai kontrol digunakan pakan ayam yang diketahui memiliki kandungan nutrisi yang baik untuk pertumbuhan larva BSF (Diener, 2010).

Sampah yang diperoleh dikumpulkan dari tempat yang berbeda. Sampah pisang dikumpulkan dari Pasar Menur, sampah mentimun dikumpulkan dari Pasar Keputeran, dan sampah kantin diperoleh dari kantin Jurusan Teknik Lingkungan ITS.



Gambar 4.1 Sampel Sampah Sebagai Makanan Larva: (a) Sampah Kantin; (b) Sampah Mentimun; (c) Sampah Pisang

#### **4.2 Penelitian Pendahuluan**

Penelitian pendahuluan dilakukan sebagai persiapan segala sesuatu yang dibutuhkan pada tahap pelaksanaan penelitian. Penelitian pendahuluan yang dilakukan yaitu penentuan kadar air awal dari masing-masing sampel.

##### **4.2.1 Pengukuran kadar air sampah**

Penentuan kadar air sampel di awal percobaan dilakukan dengan pemanasan pada suhu 105°C selama 24 jam (Lampiran 1.3). Kadar air awal sampel diperlukan untuk mengetahui berat basah sampah yang akan digunakan selama penelitian (Diener, 2011). Kadar air sampah perlu diketahui sebelum diberikan kepada larva, karena diketahui kadar air turut mempengaruhi pertumbuhan BSF (Kroes, 2012).

Memastikan sampel dalam keadaan homogen, masing-masing sampel dihaluskan dengan *blender* terlebih dahulu, kemudian dicampur dan diaduk hingga merata. Sampel mentimun dan sampel pisang di-*blender* beserta kulitnya. Sampah makanan dari kantin terlebih dahulu disisihkan dari sisa kubis dan cabai. Masing-masing jenis sampah kemudian ditentukan kadar air awalnya. Data pengukuran kadar air yang diperoleh penentuan kadar air sampah awal dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Data Berat Kering dan Kadar Air Sampel

<b>Sampel</b>	<b>Kadar air (%)</b>
Sampah pisang	70,4
Sampah mentimun	96,5
Sampah kantin	74,9
Kontrol (pakan ayam)	14,9

Melalui Tabel 4.1 dapat dilihat bahwa sampah mentimun memiliki kadar air paling tinggi yaitu 96 % dan pakan ayam dengan kadar air paling rendah yaitu 14,9 %. Sementara menurut Alvarez (2012), kadar air optimum untuk makanan larva adalah 60-90%. Kemudian masing-masing sampel ditimbang berdasarkan porsi yang dibutuhkan yang dikemas dalam plastik ber-*zipper* dan disimpan di dalam *freezer* untuk menjaga kualitasnya dan untuk menghindari serangga atau lalat lain bertelur pada sampah yang disiapkan (Diener, 2010). Berat kering rata-rata porsi makanan yang diberikan yaitu 40 mg/larva/hari (Diener, 2010), dengan variasi setiap enam hari yaitu 15 mg/larva/hari, 35 mg/larva/hari/ 50 mg/larva/hari, dan 60 mg/larva/hari. Berdasarkan data kadar air dan berat basah kering porsi yang dibutuhkan, dihitung berat basah kebutuhan masing- masing sampel sesuai contoh hitungan (3.2). Semakin tinggi kadar air sampah, maka semakin banyak sampah yang disiapkan. Berat basah yang diperoleh untuk masing-masing jenis sampah dapat dilihat di Tabel 3 Lampiran 2. Porsi disiapkan untuk kebutuhan selama waktu *running* (24 hari) berdasarkan kebutuhan frekuensi *feeding* yaitu sekali dalam sehari dan sekali dalam tiga hari dengan tiga kali replikasi.



Menghindari kekurangan sampel sampah selama pelaksanaan penelitian akibat adanya *human error*, sampel disiapkan untuk kebutuhan per 7 (tujuh) hari. Data porsi sampel yang disiapkan untuk kebutuhan selama pelaksanaan penelitian dapat dilihat di Tabel 1 dan Tabel 2 Lampiran 2.

#### 4.2.2 Pengukuran pH awal sampel

Pengukuran pH awal sampel dilakukan untuk mengetahui pH awal sampah yang diberikan pada larva. Data pH awal ini nantinya akan dibandingkan dengan pH akhir sampah, guna menentukan pengaruh dekomposisi sampah oleh larva BSF terhadap nilai pH sampah.

Pengukuran pH dilakukan dengan menggunakan pH meter (Lampiran 1.4). Berdasarkan pengukuran pH awal yang dilakukan, kondisi awal masing-masing sampel berada pada kondisi asam ( $<7$ ). Data pengukuran pH paling rendah diperoleh untuk sampah makanan dari kantin yaitu 4,53 dan yang paling tinggi diperoleh untuk pakan ayam yaitu 6,24. Pada kondisi pH demikian, masih memungkinkan untuk tumbuhnya bakteri dan jamur sehingga proses degradasi oleh mikroorganisme juga dapat berlangsung (Tchobanoglous dan Kreith, 2002). Namun pertumbuhan mikroorganisme ini tidak terlalu untuk optimum untuk sampah kantin dan sampah mentimun karena pH-nya yang cukup rendah. Jamur pada sampah akan tumbuh optimum pada pH 5,6, namun tetap dapat bertahan pada pH 2,0-9,0 (Tchobanoglous dan Kreith, 2002). Hasil pengukuran pH awal sampah dapat dilihat di Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Data Pengukuran pH Awal Sampel

Sampel	pH
Sampah pisang	5,24
Sampah mentimun	4,72
Sampah kantin	4,53
Kontrol (pakan ayam)	6,24

#### 4.2.3 Pengukuran Rasio C/N Awal Sampel

Pengukuran rasio C/N awal dilakukan untuk mengetahui rasio C/N awal dari masing-masing sampel yang kemudian dibandingkan dengan rasio C/N residu hasil dekomposisi. Hal ini dilakukan untuk menentukan pengaruh dekomposisi sampah

oleh larva BSF terhadap kandungan C-organik dan N-total dari masing-masing sampel. Penentuan kadar C-organik sampel dilakukan dengan metode gravimetri (Lampiran 1.2), melalui pembakaran dengan menggunakan furnace (550°C) selama 1 jam. Penentuan kadar N-total dilakukan dengan metode Kjeldahl (Lampiran 1.1).

Berdasarkan pengukuran yang dilakukan, diperoleh data C-organik dan N-total masing-masing sampel sesuai dengan Tabel 4.3. Melalui Tabel 4.3 dapat dilihat bahwa sampah pisang memiliki C/N rasio paling rendah yaitu 9,6 dan pakan sampah mentimun dan pakan ayam memiliki C/N rasio paling tinggi yaitu 17,1. Kandungan C-organik akan dimanfaatkan oleh mikroorganisme sebagai sumber energi. Kandungan N-total akan dimanfaatkan untuk mensintesis protein (Selintung *et al.*, 2013). Berdasarkan hal ini jika dibandingkan dengan Tabel 4.3 dapat ditentukan bahwa sampah dari kantin menjadi tempat yang paling ideal untuk tumbuh mikroba. Hal ini dinyatakan karena tingginya kandungan C-organik dan N-total pada sampah kantin bila dibandingkan dengan jenis sampah lainnya. Dengan kondisi tersebut, dapat diperkirakan proses dekomposisi oleh mikroba akan lebih cepat terjadi pada sampah makanan, karena tingginya kandungan zat organik sampah kantin yang dapat dimanfaatkan mikroba sebagai sumber energinya (Selintung *et al.*, 2013). Hal ini diperkirakan dapat mempengaruhi kecepatan proses pendegradasian masing-masing sampel, karena adanya aktifitas metabolisme dari mikroorganisme.

Tabel 4.3 Hasil Analisis Awal C-total, N-total, dan Rasio C/N Sampel

Sampel	C-organik (%)	N-total (%)	C/N
Sampah pisang	53	5,51	9,6
Sampah mentimun	50	3,20	15,6
Sampah kantin	54	4,77	11,3
Kontrol (pakan ayam)	52	3,04	17,1

### 4.3 Hasil Analisis Pelaksanaan Penelitian

Selama proses pelaksanaan penelitian mengenai pemanfaatan larva BSF dalam mereduksi sampah organik *biodegradable*, dilakukan pengamatan dan analisis terhadap beberapa parameter. Parameter tersebut antara lain pengukuran suhu dan kelembaban udara lokasi pelaksanaan, pengukuran pertambahan berat larva per 3 (tiga) hari, pH akhir sampel, rasio C/N akhir sampel, kadar air residu hasil dekomposisi, dan berat residu hasil dekomposisi.

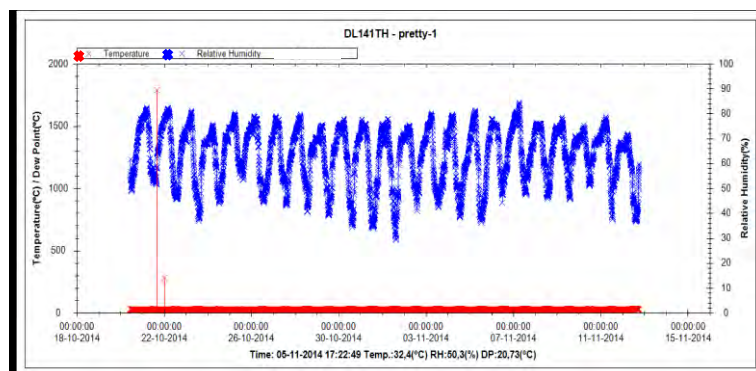
#### 4.3.1 Suhu dan Kelembaban Udara Lokasi Pelaksanaan

Pengukuran suhu dan kelembaban udara lokasi pelaksanaan percobaan dilakukan dengan menggunakan higrotermometer. Prinsip kerja higrotermometer adalah merekam secara otomatis data suhu dan kelembaban udara. Pengukuran dan perekaman data diatur setiap 5 menit sekali.

Berdasarkan hasil rekam data suhu dan kelembaban udara di lokasi pelaksanaan penelitian, diperoleh suhu maksimum mencapai 36,3°C dan suhu minimum yaitu 26,6°C, dengan suhu rata-rata 30,75°C. Namun dari rekam data yang diperoleh 2 (dua) hasil yang *error*, dimana suhu yang terukur mencapai suhu 1792°C untuk pengukuran tanggal 21 Oktober dan 285.1°C pada tanggal 22 Oktober. Kecilnya jumlah data *error* yang diperoleh dan tidak logisnya suhu yang terukur, maka kedua data suhu ini tidak dimasukkan ke dalam data pengukuran suhu. Kelembaban udara maksimum yang terukur adalah 84,5% dan minimum 29,4%, dengan kelembaban udara rata-rata yaitu 63,06 %. Hasil pengukuran menunjukkan kondisi lokasi pembiakan yaitu *workshop* jurusan Teknik Lingkungan merupakan lokasi yang cocok untuk pembiakan larva BSF karena sesuai dengan suhu optimum pertumbuhan larva yaitu antara 30°C-36°C (Popa dan Green, 2012) dengan kelembaban udara optimum 60-70% (Holmes *et al.*, 2012). Larva pada ketiga jenis sampah awal menunjukkan pertumbuhan yang cukup baik, khususnya untuk larva di sampel sampah kantin dengan waktu metamorfosis yang dibutuhkan +/- 30 hari (Popa dan Green, 2012). Pertumbuhan yang baik pada larva BSF juga

dapat dijadikan sebagai indikasi baiknya proses degradasi sampah yang dilakukan oleh larva yang digunakan sebagai sumber nutrisinya. Cukup konstannya suhu dan kelembaban udara yang diperoleh pada suhu antara 60-70%, berpengaruh sangat baik pada pertumbuhan larva. Semakin konstannya suhu dan kelembaban udara, maka pertumbuhan larva akan cenderung konstan juga (Holmes *et al.*, 2012). Hal tersebut karena pada fase pertumbuhannya, larva sudah lebih beradaptasi sehingga pertumbuhannya dapat berlangsung dengan baik.

Hasil pengukuran suhu dan kelembaban udara yang diperoleh selama pelaksanaan percobaan dapat dilihat di Tabel 4 (Lampiran 2) dan Gambar 4.2.



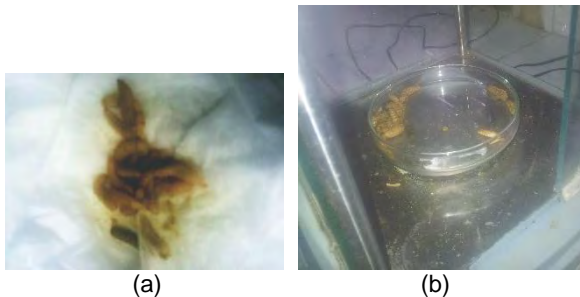
Gambar 4.2 Trend Suhu dan Kelembaban Udara Lokasi Percobaan (Per 10 Menit)

#### 4.3.2 Pertambahan Berat Larva dan Prepupa

Pengukuran pertambahan berat tubuh larva dan prepupa dilakukan setiap tiga hari. Data yang diperoleh ada data berat basah larva. Data pertambahan berat tubuh larva diperlukan untuk menentukan pengaruh jenis sampah yang diberikan dan frekuensi *feeding* terhadap pertumbuhan larva. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan neraca analisis *Ohaus* (Gambar 4.3 (b)). Penimbangan hanya dilakukan terhadap 10% jumlah larva total, sebagai representatif berat total larva di tiap reaktor (Ducharme *et al.* 1995; Diener *et al.*, 2011). Setelah dilakukan penimbangan, larva dikembalikan ke dalam reaktor.

Mengurangi kandungan air yang menempel pada tubuh larva, sebelum ditimbang larva ditempatkan di atas kertas *tissue* (Gambar 4.3 (a)). Perlakuan ini bertujuan untuk menyerap kandungan air yang menempel di kulit larva dan juga makanan yang mungkin menempel pada tubuh larva. Sementara untuk prepupa tidak ditempatkan di atas kertas *tissue* lebih dahulu karena sudah dalam kondisi kering.

Memasuki tahap prepupa hingga menjadi lalat, BSF akan berhenti makan dan memanfaatkan cadangan lemak di tubuhnya sebagai sumber energi (Diener *et al.*, 2011). Pada fase prepupa, BSF cenderung mencari tempat yang lebih kering dan dengan pencahayaan yang kurang (Alvarez, 2012; Diener *et al.*, 2011). Berdasarkan hal ini, setelah berubah menjadi prepupa, prepupa dikeluarkan dari dalam reaktor yang bersifat basah dan lembab.



Gambar 4.3 Pengukuran Berat Larva: (a) Pengeringan Larva Di Atas Tissue; (b) Pengukuran dengan Neraca Analitis

Penimbangan berat larva dan prepupa tiap tiga hari sekali memperoleh hasil yang selalu meningkat sampai diperoleh 50% prepupa dari total larva yang dimasukkan di awal penelitian. Jumlah larva dan prepupa dapat dilihat di Tabel 6 (Lampiran 2).

Pertambahan berat tubuh secara signifikan tampak untuk larva pada pakan ayam, sampah makanan kantin, dan sampah mentimum. Pertumbuhan larva pada sampah yang berada di dalam sampah pisang berlangsung cukup lambat dan mulai menunjukkan pertambahan berat tubuh yang signifikan memasuki hari ke-10 percobaan (umur larva 17 hari).

#### Pengukuran berat pada sampel pakan ayam

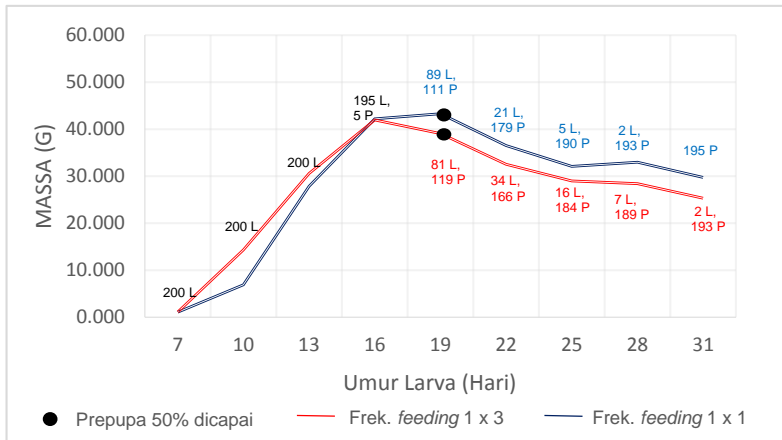
Larva pada pakan ayam (kontrol) mulai berubah menjadi prepupa memasuki hari ke-10. Pada hari ke-13 percobaan (umur larva 20 hari) diperoleh prepupa sebanyak 50% dari jumlah total larva awal yang dimasukkan pada reaktor di setiap frekuensi *feeding* (Gambar 4.4). Kecepatan perubahan larva menjadi prepupa di ketiga replika hampir sama untuk masing-masing frekuensi *feeding*. Berdasarkan ketiga replika yang dibuat perubahan larva menjadi prepupa lebih cepat terjadi untuk larva dengan frekuensi *feeding* sekali dalam 3 (tiga) hari, dengan jumlah prepupa yang ditemukan lebih banyak 8 ekor dibanding pada reaktor dengan frekuensi *feeding* sekali dalam sehari (Tabel 6, Lampiran 2)



Gambar 4.4 Prepupa 50% Dicapai Pada Sampel Pakan Ayam

Di awal percobaan pertambahan berat tubuh larva dengan frekuensi *feeding* sekali dalam 3 (tiga) hari lebih baik dibanding dengan frekuensi *feeding* sekali dalam sehari. Namun memasuki hari ke-13 percobaan terjadi penurunan berat tubuh pada reaktor dengan frekuensi *feeding* sekali dalam 3 (tiga) hari. Sementara itu pengukuran berat tubuh larva dan prepupa pada reaktor dengan frekuensi *feeding* sekali dalam sehari masih mengalami peningkatan. Penurunan berat ini dapat disebabkan karena terjadinya pergantian kulit dari fase larva hingga prepupa dan adanya massa yang terbakar selama proses metabolisme larva dan prepupa (Diener *et al.*, 2011). Pada hari ke-21 percobaan (umur larva 28 hari), seluruh larva yang diberi pakan ayam sudah mencapai tahap prepupa. Jumlah total prepupa pada tiap reaktor kemudian dihitung dan diperoleh bahwa jumlah akhir prepupa di dalam reaktor lebih sedikit dibandingkan dengan jumlah larva awal yang dimasukkan. Hal ini kemungkinan disebabkan adanya

larva muda yang mati pada awal *feeding* ataupun adanya *human error* seperti larva yang keluar dari dalam reaktor (Tabel 5, Lampiran 2). Pada hari ke-25 dilakukan lagi penimbangan prepupa total di dalam reaktor dilakukan lagi dan diperoleh berat yang menurun dibanding penimbangan sebelumnya. Penimbangan prepupa di hari ke-25 dilakukan hanya untuk replika 1, karena pada hari ke-24 percobaan beberapa prepupa pada replika 2 dan 3 sudah berubah menjadi lalat. Data pertambahan berat tubuh larva dan prepupa yang diperoleh untuk sampel pakan ayam dapat dilihat di Tabel 5 (Lampiran 2) dan Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Trend Pertambahan Berat Tubuh Larva dan Prepupa Pada Sampel Pakan Ayam

#### Pengukuran berat pada sampel makanan kantin

Larva pada sampel sampah kantin mulai berubah menjadi prepupa pada hari ke-11 (umur larva 18 hari) untuk kedua frekuensi *feeding*. Perubahan mencapai 50% prepupa diperoleh pada hari ke-18 percobaan, sehingga pemberian makan juga dihentikan di hari ke-19 (umur larva 25 hari). Setelah mencapai tahap prepupa hingga menjadi lalat dewasa, BSF mulai berhenti makan (Diener *et al.*, 2011). Penurunan berat tubuh mulai terjadi pada hari ke-16 percobaan. Penurunan ini dapat terjadi dikarenakan perbandingan jumlah prepupa sudah lebih besar

dibanding jumlah larva dan juga karna adanya massa yang digunakan untuk proses metabolisme (Gambar 4.6). Prepupa berukuran kurang lebih sebesar dua per tiga ukuran larva (Popa dan Green, 2012). Memasuki tahap prepupa hingga menjadi lalat dewasa, BSF memanfaatkan cadangan lemak di tubuhnya untuk proses metabolisme (Diener *et al.*, 2011).



Gambar 4.6 Perbandingan Ukuran Tubuh Larva dan Prepupa

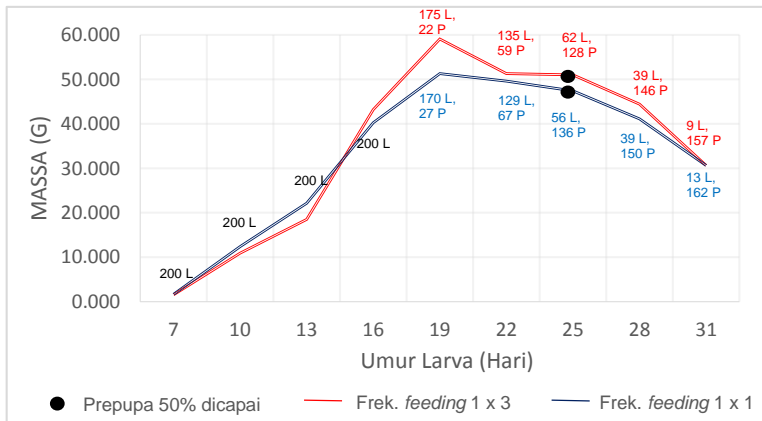
Jumlah rata-rata larva dan prepupa yang bertahan sampai hari ke-24 percobaan adalah sebanyak 175 untuk larva dengan frekuensi *feeding* sekali dalam sehari dan 169 larva untuk larva dengan frekuensi *feeding* sekali dalam 3 (tiga) hari. Penurunan jumlah yang cukup banyak ini dapat disebabkan oleh adanya larva yang keluar dari dalam reaktor dan karena adanya larva yang mati (Tabel 6, Lampiran 2). Kematian larva yang cukup banyak pada sampah kantin ini kemungkinan disebabkan karena kondisi anaerobik yang tercipta di dalam reaktor dan akibat tingginya kadar Zinc pada sampah makanan dari kantin (Diener *et al.*, 2011). Kandungan zink yang terdapat dalam makanan, diketahui dapat meningkatkan tingkat kematian pada larva sebesar 60% dan sebesar 70% pada tahap prepupa (Diener *et al.*, 2011). Kematian yang cukup banyak ini juga dapat disebabkan oleh tingginya kandungan minyak pada sampah (Gambar 4.7) dan meningkatnya kadar ammonia pada sampah karena adanya proses degradasi oleh mikroorganisme. Kandungan cabai yang mungkin masih terdapat pada sampah makanan juga dapat menjadi penyebab kematian pada larva. Kondisi anaerobik juga dapat menjadi salah satu penyebab kematian larva dan juga mendorong larva keluar dari dalam reaktor (Diener *et al.*, 2011).





Gambar 4.7 Larva pada Sampel Sampah Makanan Kantin dengan Kandungan Minyak yang Cukup Tinggi

Tingkat pertumbuhan larva dan prepupa pada sampel sampah makanan dari kantin dapat dilihat di Gambar 4.8. Melalui grafik tersebut dapat dilihat larva dan prepupa frekuensi *feeding* sekali dalam 3 (tiga) hari memiliki berat tubuh maksimum yang lebih tinggi dibandingkan larva dan prepupa dengan frekuensi *feeding* sekali dalam sehari.



Gambar 4.8 Trend Pertambahan Berat Tubuh Larva dan Prepupa Pada Sampel Sampah Kantin

#### Pengukuran berat pada sampel sampah pisang

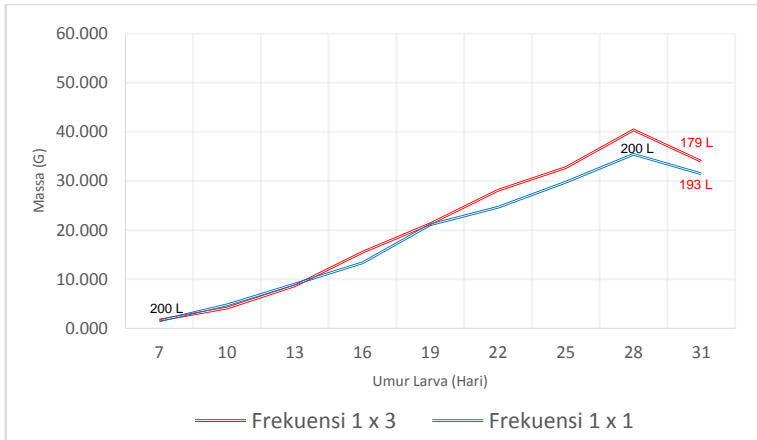
Larva dengan makanan pisang mengalami pertumbuhan yang cukup lambat dibandingkan dengan larva pada sampel lainnya. Pertambahan berat tubuh larva tidak terlalu signifikan terjadi pada beberapa hari awal percobaan, hanya sekitar 2 (dua) kali berat sebelumnya di saat sampel lainnya meningkat hingga 4-15 kali berat sebelumnya (Tabel 5, Lampiran 2). Namun memasuki hari ke-10, pertambahan berat tubuh larva semakin meningkat hingga dicapai puncaknya pada hari ke-21 percobaan. Pada hari ke-24 terjadi lagi penurunan berat tubuh. Penurunan ini terjadi karena pada saat penghitungan larva pada hari terakhir, jumlah larva yang bertahan hingga akhir tidak sama dengan jumlah awal. Pada reaktor dengan frekuensi *feeding* sekali dalam 3 (tiga) hari diperoleh jumlah akhir larva rata-rata dari ketiga replika yaitu 179 ekor larva (Tabel 6, Lampiran 2). Pada reaktor dengan frekuensi *feeding* sekali dalam sehari diperoleh jumlah larva rata-rata adalah 193 ekor (Tabel 6, Lampiran 2). Penurunan jumlah larva di yang diperoleh di akhir percobaan ini kemungkinan besar disebabkan banyaknya larva yang keluar pada saat *feeding*. Selain karena sangat sedikitnya jumlah larva mati yang ditemukan selama pelaksanaan percobaan juga karena kecilnya ukuran larva pada awal percobaan sehingga memungkinkan bagi larva untuk keluar dari dalam reaktor. Kondisi larva pada sampah pisang dapat dilihat di Gambar 4.9.



Gambar 4.9 Larva Di Dalam Sampah Pisang

Meskipun larva dengan frekuensi *feeding* sekali dalam sehari memiliki jumlah larva lebih banyak di akhir percobaan, namun dari trend pertumbuhan larva pada sampah pisang pada Gambar 4.10, dapat dilihat berat tubuh total di akhir percobaan

lebih rendah dibandingkan larva dengan frekuensi *feeding* sekali dalam 3 (tiga) hari. Sampai hari ke-24 percobaan tidak ada ditemukan prepupa, sehingga *feeding* dilakukan sampai hari terakhir percobaan.



Gambar 4.10 Trend Pertambahan Berat Tubuh Larva dan Prepupa Pada Sampel Sampah Pisang

#### Pengukuran berat pada sampel sampah mentimun

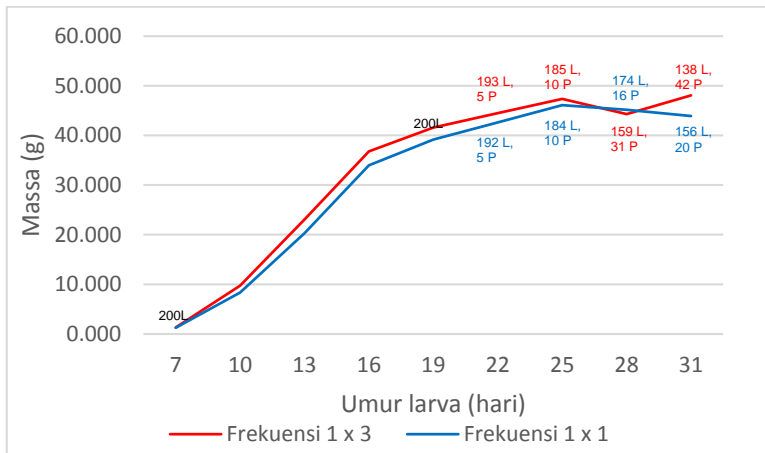
Pada reaktor dengan sampah mentimun, peningkatan berat tubuh larva tampak cukup signifikan pada beberapa hari pertama percobaan. Signifikansi pertumbuhan larva pada sampel sampah mentimun ini dapat dilihat dari peningkatan berat tubuh larva mulai hari pertama hingga hari 12 percobaan (umur larva 7-19 hari). Memasuki hari ke-13 (umur larva 20 hari), peningkatan berat tubuh larva tidak terlalu signifikan lagi. Hal ini kemungkinan disebabkan karena jumlah larva dewasa di dalam reaktor sudah mendominasi, sehingga sudah mulai terjadi penurunan aktifitas makan oleh larva. Sementara porsi makan larva sudah mulai berkurang, aktivitas metabolisme pada tubuhnya tetap terjadi dengan memanfaatkan cadangan lemak yang tersimpan di tubuh larva (Diener *et al.*, 2011). Selain itu, perubahan beberapa larva menjadi prepupa juga turut mempengaruhi penurunan berat tubuh ini, akibat adanya pergantian kulit (instar).

Prepupa mulai muncul di hari ke- 13, dengan jumlah kurang dari 10 ekor pada tiap reaktor. Hingga hari ke-24 percobaan, perubahan 50% jumlah larva menjadi prepupa tidak tercapai. Sampai hari terakhir percobaan jumlah prepupa yang diperoleh yaitu rata-rata 42 ekor dari rata-rata 180 larva untuk frekuensi *feeding* sekali dalam 3 (tiga) hari dan rata-rata 20 ekor dari 176 larva untuk frekuensi *feeding* sekali dalam sehari. Penurunan jumlah larva di akhir percobaan untuk sampah mentimun ini dapat disebabkan adanya larva yang keluar selama percobaan dan adanya kematian larva selama masa percobaan. Kematian larva mungkin dapat diakibatkan karena terlalu tingginya kadar air dalam reaktor yang dapat mengakibatkan kurangnya kadar oksigen di dalam reaktor dan terbentuknya gas CO<sub>2</sub> sehingga membentuk kondisi anaerobik di dalam reaktor (Diener, 2010). Tingginya kadar air sampah mentimun (98%) membuat larva BSF melayang (Gambar 4.11) di dalam sampah. Kadar air yang tinggi dan tidak stagnan di dalam reaktor juga berdampak buruk terhadap pertumbuhan larva. Hal ini dikarenakan zat toksik yang terbentuk pada saat proses degradasi oleh mikroorganisme akan tetap tinggal dalam reaktor dan memperlambat pertumbuhan larva dan juga dapat menyebabkan kematian pada larva (Diener *et al.*, 2011). Kadar air yang tinggi ini juga membuat sari mentimun yang sudah halus menjadi terendapkan di dasar reaktor. Kondisi ini dapat mengakibatkan semakin kecilnya tingkat konsumsi yang terjadi sampah mentimun oleh larva karena kondisi anaerobik yang tercipta di dasar reaktor.



Gambar 4.11 Larva BSF yang Melayang Di Dalam Sampah Mentimun

Trend pertambahan berat tubuh larva dan prepupa pada sampel mentimun dapat dilihat di Gambar 4.12.



Gambar 4.12 Trend Pertambahan Berat Tubuh Larva dan Prepupa Pada Sampel Sampah Mentimun

Adanya perbedaan kecepatan perubahan larva menjadi prepupa ini kemungkinan besar dipengaruhi oleh kandungan nutrisi di dalam sampel sampahnya. Sampel sampah kantin yang memiliki variasi yang lebih banyak dibanding sampel lainnya akan memperkaya kandungan nutrisi yang terdapat di dalam sampelnya, yang turut mempercepat metabolisme larva. Sementara sampel pisang lebih banyak mengandung glukosa dibanding kandungan nutrisi lainnya. Semakin banyak jumlah prepupa yang dicapai, maka berat total larva dan prepupa akan semakin berkurang. Penurunan ini terjadi karena sebelum mencapai prepupa dan pupa, larva mengalami pergantian kulit (Gambar 4.13 (a) dan (b)) yang secara otomatis mengurangi berat pada saat penimbangan. Pada saat prepupa sudah mencapai 50%, penambahan makanan pada larva dihentikan. Hal tersebut dikarenakan proses dekomposisi sampah oleh larva akan semakin berkurang. Sebagaimana diketahui pada tahap prepupa BSF tidak lagi makan (Popa dan Green, 2012), sehingga proses dekomposisi sampah di dalam reaktor akan menurun. Hal ini juga disebabkan larva yang masih tinggal di dalam

reaktor kebanyakan sudah mencapai tahap larva dewasa, yang aktivitas metabolismenya juga sudah mulai berkurang (Popa dan Green, 2012).



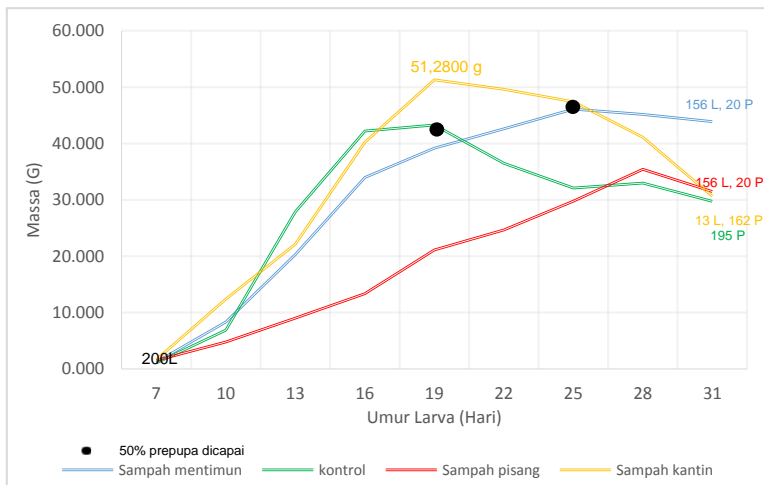
(a)



(b)

Gambar 4.13 (a) Tahap Pergantian Kulit (Instar) Pada Larva BSF;  
(b) Instar yang Terkelupas dari Tubuh Larva

Berdasarkan data keseluruhan yang diperoleh, sampah kantin menghasilkan perubahan larva menjadi prepupa yang lebih cepat dibandingkan sampel sampah lainnya. Perubahan yang cepat ini menunjukkan kandungan nutrisi di sampah kantin memberikan pertumbuhan yang amat baik bagi larva BSF. Perbandingan hasil pertambahan berat tubuh larva dengan frekuensi *feeding* sekali dalam sehari pada tiap jenis sampah dapat dilihat di Gambar 4.14.



Gambar 4.14 Trend Pertambahan Berat Tubuh Larva dan Prepupa Pada Masing-Masing Sampel Sampah dengan Frekuensi Feeding Sekali Dalam Sehari

### Analisis Statistik

Analisis statistik dilakukan dengan menggunakan analisis varians (ANOVA) *Two Way*. Melalui analisis ANOVA *Two Way* dapat ditentukan signifikansi perbedaan pengaruh variabel jenis makanan dan frekuensi *feeding* terhadap tingkat pertumbuhan larva (Santoso, 2002). Hasil analisis varians yang telah dilakukan diperoleh bahwa variabel jenis makanan dan frekuensi *feeding* yang diberikan memberikan hasil signifikansi yang berbeda untuk tiap jenis sampel. Uji anova dilakukan dengan menggunakan tingkat kepercayaan 90%, dengan nilai signifikansi lebih kecil dari 0,1 ( $P < 0,1$ ).

Berdasarkan variabel jenis sampah diperoleh hasil signifikansi yang sangat baik dengan nilai  $P = 0,00$  ( $P < 0,1$ ), yang berarti jenis makanan berpengaruh secara signifikan terhadap pertambahan berat tubuh larva. Berdasarkan variabel frekuensi *feeding* diperoleh nilai  $P = 0,628$  ( $P > 0,1$ ), yang berarti frekuensi *feeding* tidak berpengaruh secara signifikan terhadap pertambahan berat tubuh larva. Hasil analisis terhadap interaksi

kedua variabel tidak menunjukkan pengaruh yang signifikan, dengan nilai  $P=0,969$  ( $P>0,1$ ).

Berdasarkan hasil analisis untuk setiap frekuensi *feeding*, nilai signifikansi ( $P$ ) untuk frekuensi *feeding* sekali dalam sehari adalah  $0,685$  ( $P>0,1$ ) yang berarti secara keseluruhan, frekuensi *feeding* sekali dalam sehari tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap penambahan berat tubuh larva. Sementara untuk frekuensi *feeding* sekali dalam tiga tidak diperoleh nilai signifikansi ( $P=-$ ), dikarenakan adanya redundansi (data berulang) sehingga disimpulkan tidak berpengaruh sama sekali terhadap respon yang diterima.

Analisis varians untuk setiap jenis sampah memberikan hasil yang berbeda untuk tiap jenis sampah. Pakan ayam dengan nilai  $P=0,006$  dan sampah pisang dengan nilai  $P=0,071$  memberikan pengaruh yang signifikan ( $P<0,1$ ) terhadap penambahan berat larva. Berbeda dengan sampah kantin dengan nilai  $P=0,725$  tidak berpengaruh signifikan terhadap penambahan berat tubuh larva ( $P>0,1$ ). Sama halnya dengan hasil analisis terhadap frekuensi *feeding* sekali dalam sehari, hasil analisis terhadap sampah mentimun juga tidak diperoleh nilai signifikansi karena adanya beberapa data berulang (redundansi) untuk data pengukuran berat tubuh larva.

#### 4.3.3 Berat Residu Hasil Dekomposisi

Penentuan residu hasil dekomposisi sampah dilakukan berdasarkan berat kering akhir hasil dekomposisi (Diener, 2010). Berat kering sampah dapat diperoleh setelah dilakukan pengukuran kadar air sampah sesuai dengan Lampiran 1.3. Data persentase kadar air akhir hasil dekomposisi dapat dilihat di Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Data Pengukuran Kadar Air Akhir Hasil Dekomposisi

Sampah	Kadar air (%)	
	Frekuensi 1 x 3	Frekuensi 1 x 1
Pakan ayam	42,2	35,7
Pisang	78,0	81,7
Sampah kantin	75,7	73,6
Mentimun	98,1	97,9



Persentase air yang diperoleh di atas kemudian digunakan untuk memperoleh berat kering hasil dekomposisi yang akan digunakan sebagai faktor pengali terhadap berat basah residu. Berdasarkan perhitungan yang dilakukan diperoleh berat kering akhir residu sesuai dengan Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Berat Kering Akhir Hasil Dekomposisi

Sampah	Berat akhir total residu (g)	
	Frekuensi 1 x 3	Frekuensi 1 x 1
Pakan ayam	20,91	22,11
Pisang	92,25	73,99
Sampah kantin	55,78	41,43
Mentimun	89,00	92,35

#### 4.3.4 pH Residu Hasil Dekomposisi

Pengukuran pH akhir sampah dilakukan terhadap residu hasil dekomposisi oleh larva BSF. Hasil pengukuran pH akhir diperlukan sebagai data pembandingan terhadap pH awal sampah. Hasil pengukuran pH akhir menunjukkan penurunan pH untuk sampel sampah pisang pada kedua frekuensi *feeding*. Sementara sampel pakan ayam dan sampah mentimun justru mengalami peningkatan pH. Pada sampel sampah kantin untuk frekuensi *feeding* sekali dalam 3 (tiga) hari mengalami penurunan pH, sementara frekuensi *feeding* sekali dalam sehari mengalami peningkatan pH. Tingginya aktifitas mikroorganisme di dalam sampah dapat mengakibatkan peningkatan dan penurunan nilai pH (Gaudy dan Gaudy, 1980). Kemampuan sebagian besar mikroorganisme hidup dalam kondisi anaerob, memanfaatkan energi yang berasal dari proses fermentasi senyawa organik. Zat gula akan dikonversi menjadi beberapa produk, di antaranya senyawa organik asam. Senyawa asam organik ini akan keluar bersama sel tubuh mikroorganisme dan mengakibatkan penurunan nilai pH.

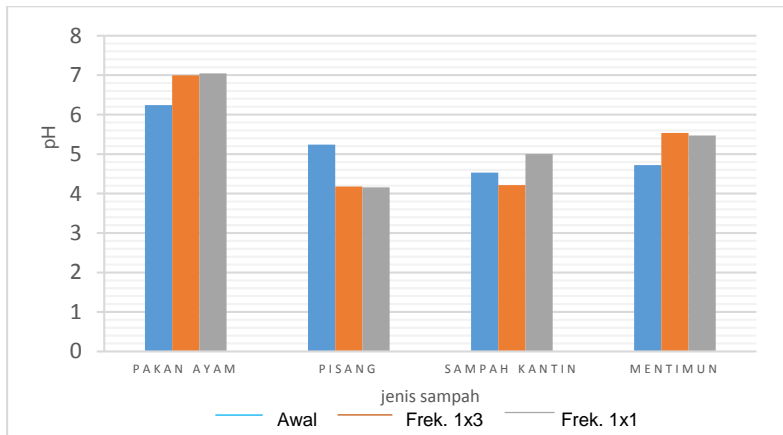
Adanya proses pelepasan kandungan protein, peptida, dan asam amino dari proses degradasi juga turut mengakibatkan penurunan nilai pH (Gaudy dan Gaudy, 1980). Deaminasi, yaitu proses asam amino sebagai  $\text{NH}_3$ , akan membentuk amonium hidroksida ( $\text{NH}_4\text{OH}$ ) ketika terjadi pelepasan  $\text{NH}_3$  (Gaudy dan

Gaudy, 1980). Penggunaan anion, seperti nitrat dari  $\text{NaNO}_3$ , mengakibatkan penurunan nilai pH. Sebaliknya, penggunaan kation seperti ion amonium dari  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  akan mengakibatkan peningkatan nilai pH. Adanya kandungan air di dalam sampah yang diujikan akan menciptakan reaksi antara  $\text{NH}_3$  dengan  $\text{H}_2\text{O}$ . Reaksi ini akan membentuk  $\text{NH}_4$  dan ion  $\text{OH}^-$  yang menyebabkan penurunan pH pada sampel (Mirwan, 2012). Sehingga dapat dinyatakan kenaikan  $\text{NH}_3$  berbanding lurus dengan kenaikan nilai pH.

Dari hasil analisis yang diperoleh di Tabel 9 (Lampiran 2), di akhir percobaan terjadi peningkatan kadar  $\text{NH}_3$  di semua sampel. Menurut teori, seharusnya dengan adanya kenaikan kadar  $\text{NH}_3$  akan diikuti dengan kenaikan pH. Namun dari hasil yang diperoleh sesuai Tabel 4.6, hanya sampel pakan ayam dan sampel mentimun yang mengalami peningkatan nilai pH. Sementara untuk sampel pisang justru mengalami penurunan nilai pH di kedua frekuensi *feeding* dan sampel kantin mengalami peningkatan pH untuk frekuensi *feeding* sekali dalam tiga hari dan penurunan pH untuk frekuensi *feeding* sekali dalam sehari. Penurunan pH pada sampel pisang dapat disebabkan oleh kandungan nutrisi pisang yang bersifat asam, seperti vitamin C (10%) dan kadar glukosanya yang tinggi (USDA, 2014). Kadar glukosa yang tinggi akan memungkinkan masih berlangsungnya proses hidrolisis pada sampah pisang. Proses hidrolisis yang terjadi akan menghasilkan asam-asam organik pada residu sampah pisang. Didukung tingginya kadar vitamin C di dalam sampah pisang, dapat menjadi penyebab turunnya pH residu di akhir percobaan.

Berdasarkan data pengukuran pH dan data pengukuran pertambahan berat tubuh larva, tidak dapat ditentukan hubungan antar kedua faktor tersebut. Pada sampel sampah kantin yang mengalami penurunan pH, tingkat kematian pada larva yang terjadi cukup tinggi. Meskipun begitu pada sampah pisang yang juga mengalami penurunan pH, tingkat kematian larva terbilang cukup rendah dengan tidak ditemukannya larva yang mati selama percobaan. Adanya perbedaan tingkat kematian pada variasi pH, sehingga belum dapat ditentukan pengaruh pH makanan terhadap tingkat kematian larva. Kematian larva yang tinggi selama percobaan kemungkinan besar masih disebabkan

oleh kondisi anaerobik yang terbentuk selama percobaan (Diener *et al.*, 2011). Hal ini juga dapat diakibatkan kandungan Zink pada sampah yang diberikan. Diketahui mentimun memiliki kandungan Zn yang cukup tinggi yaitu 0.2mg/100g (NN, 2013), dibandingkan dengan pisang yang hanya 0.061mg/100g (NN, 2013). Adanya zat kimia lain yang bersifat racun juga dapat menyebabkan kematian pada larva, seperti penggunaan pestisida yang disemprotkan pada mentimun dan juga berasal dari vetsin (MSG) pada sampah makanan dari kantin. Berdasarkan pengukuran pH akhir yang dilakukan, perbandingan pH awal dan pH akhir hasil dekomposisi oleh larva BSF dapat dilihat di Gambar 4.15.



Gambar 4.15 Perbandingan pH Awal dan pH Akhir

#### 4.3.5 Rasio C/N Residu Hasil Dekomposisi

Pengukuran rasio C/N hasil dekomposisi di akhir percobaan dilakukan untuk dibandingkan dengan data rasio C/N awal. Penentuan nilai C-organik dilakukan dengan menggunakan metode gravimetrik (Lampiran 1.2). Penentuan nilai N- total dilakukan dengan menggunakan metode Kjeldahl untuk penentuan kadar N-organik, serta metode *colorimeter* untuk kadar nitrat dan nitrit (Lampiran 1.1). Hasil pengukuran C/N rasio hasil dekomposisi dapat dilihat di Tabel 4.6.

Pada kedua frekuensi *feeding*, terjadi penurunan rasio C/N untuk sampel pakan ayam dan sampe mentimun, di saat

sampel makanan dari kantin dan sampel pisang mengalami peningkatan. Adanya proses degradasi oleh BSF dan juga oleh mikroorganisme yang terdapat di dalam masing-masing sampel sebagai sumber energi (Selintung *et al.*, 2013) juga menyebabkan peningkatan rasio C/N.

Di antara 4 jenis sampel yang diuji diperoleh bahwa kadar N-total pada sampel mentimun dan sampel pakan ayam mengalami peningkatan dan penurunan, sedangkan 2 (dua) sampel lainnya mengalami penurunan kadar N-total saja. Adanya peningkatan kadar N-total ini dikarenakan adanya pembentukan gas ammonia di dalam sampel pada saat proses degradasi protein sampah oleh mikroorganisme (Tchobanoglous *et al.*, 1993). Aktivitas larva BSF dan bakteri di dalam sampah organik yang diberikan juga turut menurunkan kadar N yang dikonversikan menjadi biomassa (Diener *et al.*, 2011). Pemanfaatan larva BSF juga diketahui dapat mereduksi hingga 55% kadar nitrogen dari kotoran sapi (Newton *et al.*, 2005) mencapai 80,5% untuk beberapa jenis kotoran lainnya (Diener *et al.*, 2011).

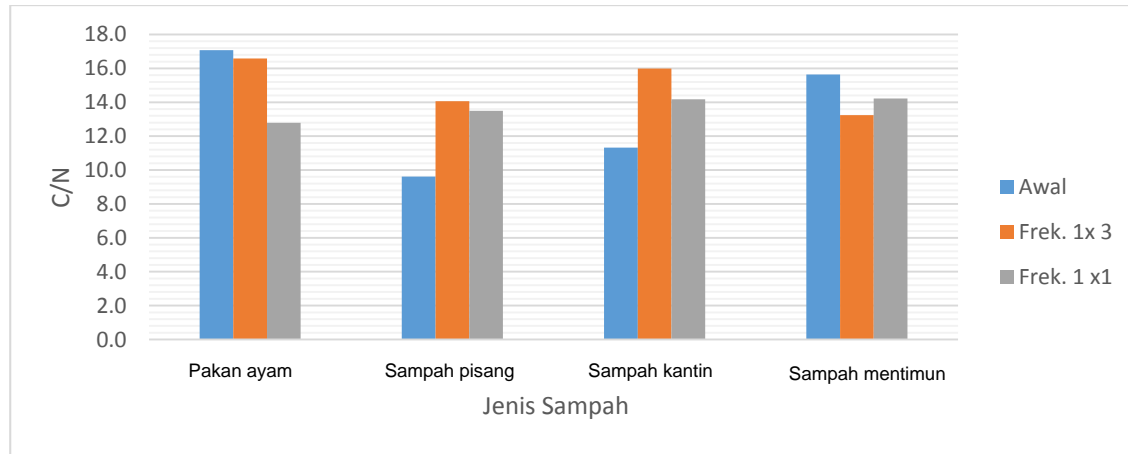
Adanya perbedaan kadar protein untuk masing-masing sampel mengakibatkan perbedaan kadar N-total. Protein dengan bantuan bakteri heterofik akan dikonversi menjadi amonia (Sawyer *et al.*, 1994). Sehingga, semakin kandungan N-total akan sebanding dengan kandungan proteinnya. Berdasarkan kandungan protein masing-masing sampel, sampah makanan kantin dan sampah pakan memiliki kandungan yang lebih tinggi dibandingkan sampah mentimun dan sampah pisang. Namun jika dibandingkan dengan kadar N-total akhir yang diperoleh, kadar N-total untuk sampel pakan ayam lebih rendah jika dibandingkan dengan sampah pisang. Adanya ketidaksesuaian ini kemungkinan dapat disebabkan adanya kesalahan pada saat pelaksanaan analisis N-organik yang dilakukan. Kesalahan juga dapat terjadi karena disebabkan penyimpanan sampel yang terlalu lama, yang mengakibatkan perubahan kimia pada sampel. Sesuai dengan Standart Method, penyimpanan sampel untuk analisis N-total dapat dilakukan dengan penyimpanan pada suhu

-20°C selama <28 hari atau dengan penambahan asam pekat pada suhu 4°C selama <28 hari. Sementara penyimpanan yang dilakukan terhadap sampel sebelum dianalisis sudah melebihi 28 hari.

Sebagai upaya pemanfaatan, residu yang diperoleh dapat dimanfaatkan untuk pengomposan ataupun untuk biogas (Diener *et al.*, 2011). Namun dikarenakan proses pengomposan maupun biogas masih membutuhkan waktu untuk prosesnya, sehingga upaya pemanfaatan residu sebagai pupuk organik dapat menjadi pilihan. Menurut Surat Keputusan Menteri Pertanian No.2 Tahun 2006, C/N rasio untuk pupuk organik adalah 10-15 dengan kadar C-organik >12%. Berdasarkan SK tersebut, maka dinyatakan residu hasil dekomposisi larva BSF untuk frekuensi *feeding* sekali dalam tiga hari cocok untuk dijadikan sebagai pupuk organik. Untuk hasil dekomposisi dengan frekuensi *feeding* sekali dalam sehari masih perlu dilakukan penambahan sumber karbon seperti dengan menambahkan sampah kebun untuk meningkatkan rasio C/N-nya. Tchobanoglous *et al.* (1993) menyebutkan sampah kebun memiliki kadar karbon yang tinggi yaitu sebesar 46%, dengan kadar nitrogen sebesar 2,2 %.

Tabel 4.6 Data Pengukuran Rasio C/N Residu

Sampah	Rasio C/N awal	C organik (%)		N total (%)		Rasio C/N akhir	
		Frekuensi 1 x 3	Frekuensi 1 x 1	Frekuensi 1 x 3	Frekuensi 1 x 1	Frekuensi 1 x 3	Frekuensi 1 x 1
Pakan ayam	17,1	45	47	2.7	3.7	16.6	12.8
Sampah Pisang	9,6	50	50	3.6	3.7	14.1	13.5
Sampah kantin	11,3	52	50	3.2	3.6	16.0	14.2
Sampah mentimun	15,6	43	44	3.3	3.1	13.2	14.2



Gambar 4.16 Grafik Perbandingan C/N Rasio Awal dan Akhir

#### 4.4 Persentase Reduksi Sampah oleh Larva BSF

Menentukan efektivitas pemanfaatan larva BSF dalam mereduksi sampah makanan dapat dilihat dari besarnya persentase reduksi sampah yang berhasil dilakukan. Persentase reduksi sampah dihitung berdasarkan perbandingan berat akhir residu hasil dekomposisi dengan berat total sampel yang ditambahkan (Diener, 2010). Persentase reduksi terbesar dicapai untuk sampel sampah kantin dengan frekuensi *feeding* sekali dalam sehari sebesar 65%. Persentase reduksi paling rendah diperoleh pada sampel mentimun yaitu 52% untuk frekuensi *feeding* sekali sehari..

Berdasarkan hasil pengukuran yang telah dilakukan, ketiga jenis sampel menghasilkan persentase reduksi yang cukup baik yaitu mencapai lebih dari 50% untuk setiap jenis sampah. Melalui beberapa penelitian yang telah dilakukan, rata-rata persentase reduksi yang berhasil dicapai berkisar pada 50%. Seperti penelitian Newton *et al.* (2005) melalui percobaan terhadap kotoran sapi sebesar 56%, Kroes (2012) sebesar 50% untuk kotoran manusia, dan Sheppard *et al.* (1994) sebesar minimal 50% untuk beberapa jenis kotoran. Berdasarkan frekuensi *feeding*-nya, dua dari tiga jenis sampah yang diujikan menunjukkan menghasilkan persentase reduksi yang lebih baik dibanding *feeding* dengan frekuensi sekali dalam 3 (tiga) hari, yaitu mencapai 65%. Selain berdasarkan jenis makanan yang diberikan, porsi makanan turut berpengaruh terhadap persentase reduksi yang diperoleh (Kroes, 2012). Berdasarkan persentase residu yang diperoleh, dapat ditentukan bahwa porsi makanan yang diberikan yaitu 40 mg/larva/hari masih tidak sesuai dengan kebutuhan larva. Berdasarkan berat sampah yang tereduksi, dapat dihitung porsi kebutuhan larva setiap harinya dengan menggunakan persamaan (2.5), sehingga diperoleh porsi harian sesuai dengan Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Porsi Kebutuhan Harian Larva

Sampah	Laju konsumsi harian (mg/larva/hari)	
	Frekuensi 1 x 3	Frekuensi 1 x 1
Pakan ayam	16	16
Pisang	21	25
Sampah kantin	18	19
Mentimun	21	21

Berdasarkan perhitungan laju harian konsumsi larva di Tabel 4.7, dapat ditentukan rata-rata porsi kebutuhan larva setiap harinya. Dengan menggunakan formula DCRM (Persamaan 2.6), maka diperoleh porsi kebutuhan harian larva BSF adalah sebesar 20 mg/larva/hari. Dapat dilihat bahwa porsi yang diberikan dalam penelitian ini lebih besar dua kali lipat dibanding kebutuhan hariannya.

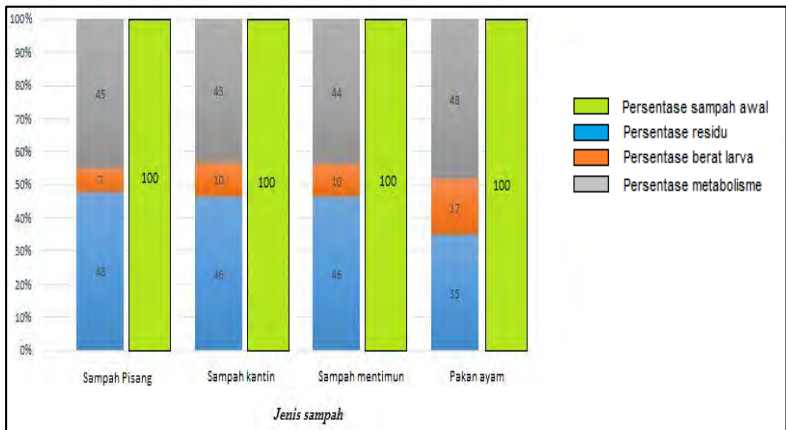
Hasil perhitungan persentase reduksi sampah yang telah dilakukan oleh larva BSF selama percobaan 24 hari dapat dilihat di Tabel 4.8.

Tabel 4.8 Persentase Reduksi Sampah oleh Larva BSF

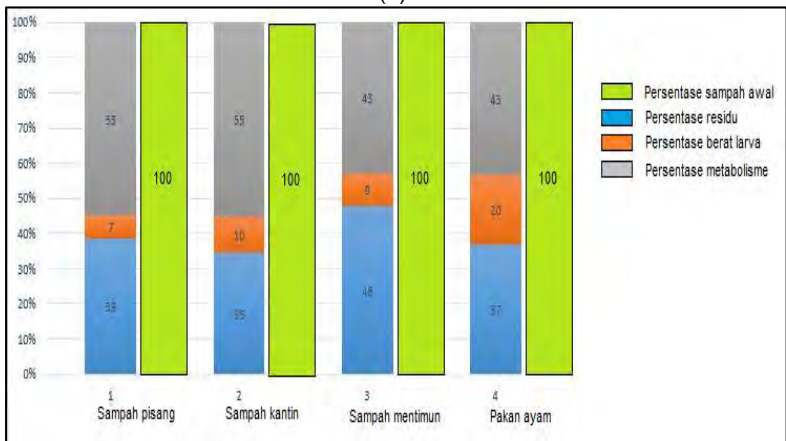
Sampah	Persentase reduksi (%)	
	Frekuensi 1 x 3	Frekuensi 1 x 1
Pakan ayam	65	63
Pisang	52	61
Sampah kantin	54	65
Mentimun	54	52

Persentase reduksi sampah dapat dilihat melalui grafik kesetimbangan massa untuk sampah masuk dan sampah keluar di Gambar 4.17. Dari sampah yang diujikan, untuk frekuensi *feeding* sekali dalam tiga hari +/- 45% sampah yang diberikan sebagai makanan digunakan untuk metabolisme, +/- 11% diserap sebagai berat tubuh larva, dan +/- 44% tersisa sebagai residu (Gambar 4.17 (b)). Sementara untuk frekuensi *feeding* sekali dalam sehari diperoleh bahwa +/- 49% sampah yang diberikan sebagai makanan digunakan untuk metabolisme, +/- 11% diserap sebagai berat tubuh larva, dan +/- 40% tersisa sebagai residu (Gambar 4.17 (a)).





(a)



(b)

Gambar 4.17 Grafik Persen Reduksi Sampah oleh Larva BSF (a) Frekuensi *Feeding* Sekali dalam Tiga Hari; (b) Frekuensi *Feeding* Sekali dalam Sehari

#### Analisis statistik pengaruh jenis makanan dan frekuensi *feeding* terhadap persentase reduksi

Berdasarkan analisis statistik yang dilakukan dengan analysis varians Anova Two Way, diperoleh bahwa variabel jenis makanan dan variabel frekuensi feeding tidak berpengaruh secara signifikan terhadap persentase reduksi sampah yang diujikan. Hal ini dapat dilihat nilai signifikansi (P) dari setiap variabel tidak ada yang memenuhi nilai  $P < 0,1$ . Nilai P untuk jenis makanan adalah 0,188 dan untuk frekuensi *feeding* sebesar 0,238.

Hasil uji signifikansi pada setiap jenis makanan tidak berpengaruh signifikan terhadap persentase reduksi sampah. Dengan nilai signifikansi yaitu: 0,82, 1,0, 0,125 masing-masing untuk sampah pisang, sampah kantin, dan pakan ayam. Sementara itu, untuk nilai signifikansi pengaruh sampah mentimun tidak diperoleh hasil karena adanya data berulang (redundansi) terhadap respon yang diterima.

Berdasarkan frekuensi *feeding*, hasil analisis uji signifikansi hanya ditunjukkan oleh frekuensi *feeding* sekali dalam sehari. Hasil analisis terhadap frekuensi *feeding* sekali dalam sehari tidak diperoleh nilai signifikansinya. Hal ini dikarenakan adanya redundansi (pengulangan data) terhadap respon yang diterima. Dalam hal ini yaitu persen reduksi yang mana nilainya untuk tiap replika dimasing-masing jenis sampel tidak terlalu berbeda jauh (selisih kecil).





## **BAB 5**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan Penelitian**

Berdasarkan penelitian yang dilakukan mengenai pemanfaatan larva BSF sebagai salah satu upaya reduksi sampah organik *biodegradable*, diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut.

1. Persentase reduksi yang diperoleh untuk degradasi sampah mentimun, sampah kantin, dan sampah pisang masing-masing yaitu: 54%, 54%, dan 52% untuk frekuensi *feeding* sekali dalam tiga hari dan sebesar: 52%, 65%, dan 61% untuk frekuensi *feeding* sekali dalam sehari. Dikaitkan dengan pertambahan berat tubuh larva, sampah makanan kantin memberikan berat tubuh yang paling besar dengan perolehan prepupa >50% dari jumlah larva awal yang dimasukkan. Hal ini pun mendukung pengembangbiakan larva BSF sebagai pengganti pakan ternak, dengan memanfaatkan sampah makanan kantin sebagai makanannya.
2. Melalui analisis statistik Anova *Two Way* dengan tingkat kepercayaan 90% ( $P < 0,1$ ), diperoleh bahwa variabel jenis makanan berpengaruh signifikan terhadap tingkat pertumbuhan larva, dengan nilai  $P = 0,00$  ( $P < 0,1$ ). Sementara berdasarkan frekuensi *feeding* tidak berpengaruh secara signifikan terhadap tingkat pertumbuhan larva, dengan nilai  $P = 0,628$  ( $P > 0,1$ ).
3. Karakteristik akhir hasil dekomposisi sampah organik *biodegradable* oleh larva BSF adalah sebagai berikut:
  - Rasio C/N dari sampah pisang, sampah kantin, dan sampah mentimun adalah masing-masing sebesar 10,9; 11,1; dan 9,8 untuk frekuensi *feeding* sekali dalam tiga hari. Untuk frekuensi *feeding* sekali dalam sehari diperoleh nilai rasio C/N sebesar 10,0; 9,4; dan 8,0.
  - Kadar air dari sampah pisang, sampah kantin, dan sampah mentimun adalah masing-masing sebesar 78%; 75,7%; dan 98,1% untuk frekuensi *feeding* sekali dalam tiga hari. Untuk frekuensi *feeding* sekali dalam sehari diperoleh kadar air sebesar 81,7%; 73,6%; dan 97,9%.

- pH dari sampah pisang, sampah kantin, dan sampah mentimun adalah masing-masing sebesar 4,18; 4,21; dan 5,54 untuk frekuensi *feeding* sekali dalam tiga hari. Untuk frekuensi *feeding* sekali dalam sehari diperoleh nilai pH sebesar 4,16; 5,00; dan 5,47.

## 5.2 **Saran**

Adapun saran yang diajukan berdasarkan penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut.

1. Perlu dilakukan kajian ulang terhadap porsi kebutuhan makanan harian tiap larva. Sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan, diperoleh porsi kebutuhan larva setiap harinya adalah 20 mg/larva/hari.
2. Perlu dilakukan penelitian lanjutan mengenai pengaruh tingkat keasaman makanan terhadap tingkat kematian larva sehingga dapat diketahui pH optimum bagi pertumbuhan larva BSF.
3. Perlunya suatu upaya untuk mengurangi bau tidak sedap dari sampah yang sudah terdegradasi. Salah satu upaya adalah dengan mengubah porsi kebutuhan harian larva yang tidak berlebih sehingga proses penguraian sisa makanan dapat diminimalisasi.







## Lampiran 1: Metode Analisis

### 1. Analisis Total Nitrogen

#### *Analisis ammonia - metode Kjeldahl*

##### a. Peralatan dan bahan

###### Alat:

- Neraca Analitik
- Alat uji Kjeldahl
- Erlemeyer 250 mL
- Buret
- Pipet tetes

###### Bahan:

- Digestion reagen:  
134 g  $K_2SO_4$  ditambah 7.3 g  $CuSO_4$  dilarutkan dengan aquades hingga 800 mL, kemudian ditambahkan dengan 134 mL  $H_2SO_4$  pekat dan diencerkan hingga 1000 mL
- Larutan absorban: Asam borat  
20 g  $H_3BO_3$  diencerkan hingga 1000 mL
- Larutan borate buffer  
9.5 g  $Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$  dilarutkan dengan aquades hingga volume 500 mL, kemudian ditambahkan 88 mL NaOH 0.1 N dan diencerkan hingga volume 1000 mL
- Larutan *Sodium hydroxide-sodium thiosulfate*  
Larutkan 500 g NaOH dan 25 mg  $Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$
- Larutan NaOH 6 N
- Indikator PP 1%
- Larutan titran standar  $H_2SO_4$  0.02 N
- Batu didih
- Indikator titrasi:  
200 mg metil merah yang dilarutkan ke dalam 100 mL isoprophil alkohol dicampur dengan 100 mg metil biru yang dilarutkan dengan 50 mL isoprophil alkohol

##### .b. Prosedur kerja analisis:

###### Destruksi sampel

- 1) Timbang 5 g sampel dengan neraca analitis.
- 2) Masukkan ke dalam tabung kjeldahl

- 3) Tambahkan aquades hingga 300 mL, tambahkan 50 mL digestion reagen dan lakukan pemanasan hingga tersisa larutan 25-50 mL di dalam labu Kjeldahl. Hentikan proses destruksi dan biarkan beberapa saat hingga suhunya turun.

#### Destilasi

- 1) Tambahkan aquades ke dalam labu Kjeldahl berisi hasil destruksi hingga volume 300 mL. Lalu tambahkan 50 mL larutan *Natrium hydroxide-sodium thiosulfate* dan pasang ke alat destilasi Kjeldahl. Masukkan 50 mL larutan asam borat ke dalam gelas Erlenmeyer 250 mL dan tempatkan pada alat penampung destilat. Atur waktu destilasi dan lakukan proses destilasi.
- 2) Destilat yang teradsorb pada larutan asam borat ditentukan konsentrasinya dengan cara titrasi.

$$N_{\text{organik+amonia}} = \frac{\text{Vol titrasi}}{\text{Vol sampel}} \times 1000 \times 14 \times N_{\text{titran}} \times f_k$$

Dengan:

$f_k$  = faktor pengenceran

#### *Analisis nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ) – metode spektrofotometri*

##### a. Peralatan dan bahan

##### Alat:

- Erlenmeyer 25 mL
- Pipet volumetric 10 mL

##### Bahan:

- Larutan brucin asetat 5 %
- $\text{H}_2\text{SO}_4$  pekat

##### b. Prosedur kerja analisis:

- 1) Larutkan 0.1 g sampel kering dengan aquades hingga volume 20 mL.
- 2) Ambil 2 mL larutan sampel kemudian tambahkan dengan 2 mL brucin asetat
- 3) Tambahkan 4 mL larutan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  pekat, diamkan selama kurang lebih 10 menit
- 4) Baca pada spektrofotometer dengan panjang gelombang ( $\lambda = 400 \text{ nm}$ )

*Analisis nitrit ( $\text{NO}_2^-$ ) – metode spektrofotometri*

a. Peralatan dan bahan

Alat:

- Erlemeyer 25 mL
- Pipet volumetric 10 mL

Bahan:

- Larutan NED
- Larutan *sulfanilic acid*

b. Prosedur kerja analisis:

- 1) Larutkan 0.1 g sampel kering dengan aquades hingga volume 20 mL.
- 2) Siapkan 25 mL sampel kemudian tambahkan aquades hingga volume 25 mL
- 3) Tambahkan 0.5 mL larutan *sulfanilic acid*, kocok, dan diamkan selama kurang lebih 2 menit
- 4) Tambahkan 0.5 mL larutan NED, diamkan 10 menit-2 jam
- 5) Baca pada spektrofotometer dengan panjang gelombang ( $\lambda = 540 \text{ nm}$ )

2. Analisis C-organik (Metode Gravimetri)

a. Peralatan dan bahan:

Alat

- cawan porselen
- oven
- furnace
- desikator
- spatula
- neraca analitis

Bahan

- sampel

b. Prosedur kerja analisis:

- 1) Siapkan cawan porselen yang sudah dikeringkan di oven selama +/- 1 jam, kemudian dinginkan di dalam desikator.

- 2) Timbang cawan porselen kosong dengan menggunakan neraca analitis, catat hasil pembacaanya (a).
- 3) Tambahkan sampel ke dalam cawan kosong, kemudian timbang dan catat hasil pembacaanya (b).
- 4) Keringkan pada oven dengan suhu 105°C selama 24 jam. Dinginkan di dalam desikator, kemudian timbang dengan neraca analisis dan catat hasil pembacaannya (c).
- 5) Masukkan ke dalam furnace dan dilakukan pembakaran pada suhu 550°C selama 1 jam.
- 6) Masukkan ke dalam oven selama 15 menit dan ke dalam desikator selama 15 menit untuk menurunkan suhunya. Timbang dengan neraca analisis dan catat hasil pembacaannya (d).
- 7) Hitung kadar C-organik dengan rumus:

$$C_{organik} = \frac{1}{1.8} \times VOC$$

Dimana:

VOC = Berat kering – berat ash  
 Berat kering = c - b  
 Berat ash = d - b

### 3. Analisis Kadar Air

#### a. Peralatan:

- |                    |               |
|--------------------|---------------|
| 1) Neraca analitik | 3) Oven 105°C |
| 2) Cawan porselen  | 4) Desikator  |

#### b. Prosedur kerja analisis:

- 1) Siapkan cawan porselen yang sudah dikeringkan di oven selama +/- 1 jam, kemudian dinginkan di dalam desikator.
- 2) Timbang cawan porselen kosong dengan menggunakan neraca analitis, catat hasil pembacaanya (a).
- 3) Tambahkan sampel ke dalam cawan kosong, kemudian timbang dan catat hasil pembacaanya (b).
- 4) Keringkan pada oven dengan suhu 105°C selama 24 jam. Dinginkan di dalam desikator, kemudian timbang

dengan neraca analisis dan catat hasil pembacaannya (c).

- 5) Hitung kadar air sampah dengan rumus:

$$\%air = \frac{(b-a)-(c-a)}{(b-a)} \times 100\%$$

Dimana :

a = berat awal cawan kosong

b = berat awal cawan kosong + sampel

c = berat cawan + sampel setelah dioven

#### 4. Analisis pH

- a. Peralatan dan bahan:

Alat

- pH meter
- labu erlenmeyer 100 mL
- magnetic stirrer
- neraca analitis
- spatula

Bahan

- sampel
- aquades

- b. Prosedur kerja analisis

- 1) Timbang sampel sebanyak 10 gr dengan neraca analitis, lalu masukkan ke dalam tabung erlenmeyer 100 mL.
- 2) Tambahkan 50 mL aquadest.
- 3) Aduk dengan *magnetic stirrer* selama 10 menit.
- 4) Tuangkan larutan ke dalam gelas ukur 50 mL, biarkan kompos yang tidak terlarut di dalam gelas Erlenmeyer.
- 5) Ukur dan catat hasil pembacaan pH meter.

## Lampiran 2 : Tabel Pengamatan Hasil Penelitian

Tabel 1 Berat Basah Masing-Masing Jenis Sampah Berdasarkan Persentase Kadar Air

Sampel	Berat basah perpori (g/200 larva/hari)							
	Frekuensi <i>feeding</i> 1 x 3 hari				Frekuensi <i>feeding</i> 1 x 1 hari			
	(45 mg/ 3hari/larva)	(105 mg/ 3hari/larva)	(150 mg/ 3hari/larva)	(180 mg/ 3hari/larva)	(15 mg/ hari/larva)	(35 mg/ hari/larva)	(50 mg/ hari/larva)	(60 mg/ hari/larva)
Sampah pisang	30,443	71,035	101,478	121,774	10,148	23,678	33,826	40,591
Sampah mentimun	254,018	592,708	846,726	1016,071	84,673	197,569	282,242	338,690
Sampah kantin	35,917	83,805	119,722	143,666	11,972	27,935	39,907	47,889
Kontrol (pakan ayam)	10,576	24,677	35,253	42,303	3,525	8,226	11,751	14,101

Tabel 2 Data Porsi Sampel yang Disediakan

Sampel	Banyak porsi (bungkus)							
	Frekuensi <i>feeding</i> 1 x 3 hari				Frekuensi <i>feeding</i> 1 x 1 hari			
	(150 mg/ 3hari/larva)	(180 mg/ 3hari/larva)	(150 mg/ 3hari/larva)	(180 mg/ 3hari/larva)	(15 mg/ hari/larva)	(35 mg/ hari/larva)	(50 mg/ hari/larva)	(60 mg/ hari/larva)
Sampah pisang	9	9	9	9	21	21	21	21
Sampah mentimun	9	9	9	9	21	21	21	21
Sampah kantin	9	9	9	9	21	21	21	21
Kontrol (pakan ayam)	9	9	9	9	21	21	21	21

Tabel 3 Perhitungan porsi makanan

Berat kering kebutuhan (mg/larva/hari, berat kering)	Sampel	Kadar air (%)	Berat basah kebutuhan (mg/larva/hari)	Jumlah larva (per reaktor)	Berat basah sampel per reaktor (g/hari)	Kebutuhan porsi 1 hari (g)	Kebutuhan porsi 3 hari (g)
15	Sampah Pisang	70	50.739	200	10.148	10.148	30.443
	Sampah kantin	96	423.363	200	84.673	84.673	254.018
	Sampah mentimun	75	59.861	200	11.972	11.972	35.916
	Pakan ayam	15	17.626	200	3.525	3.525	10.576
35	Sampah Pisang	70	118.391	200	23.678	23.678	71.035
	Sampah kantin	96	987.847	200	197.569	197.569	592.708
	Sampah mentimun	75	139.675	200	27.935	27.935	83.805
	Pakan ayam	15	41.128	200	8.226	8.226	24.677
50	Sampah Pisang	70	169.130	200	33.826	33.826	101.478
	Sampah kantin	96	1,411.210	200	282.242	282.242	846.726
	Sampah mentimun	75	199.536	200	39.907	39.907	119.722
	Pakan ayam	15	58.754	200	11.751	11.751	35.253
60	Sampah Pisang	70	202.956	200	40.591	40.591	121.774
	Sampah kantin	96	1,693.452	200	338.690	338.690	1016.071
	Sampah mentimun	75	239.443	200	47.889	47.889	143.666
	Pakan ayam	15	70.505	200	14.101	14.101	42.303

Tabel 4 Data Suhu dan Kelembaban Udara Lokasi Percobaan

Tanggal	Suhu (°C)		Kelembaban udara (%)	
	Maks.	Min.	Maks.	Min.
22 Oktober 2014	32,1	29,2	74,1	56,2
23 Oktober 2014	34,4	27,0	81,2	37,2
24 Oktober 2014	34,4	26,6	75,8	44,1
25 Oktober 2014	33,3	27,0	80,2	53,7
26 Oktober 2014	34,2	26,8	79,3	44,4
27 Oktober 2014	33,9	27,3	79,1	43,2
28 Oktober 2014	35,0	27,3	79,8	40,7
29 Oktober 2014	34,8	27,3	75,6	39,3
30 Oktober 2014	34,8	28,1	77,9	34,6
31 Oktober 2014	35,3	27,1	77,7	34,1
1 November 2014	35,7	27,3	77,9	29,4
2 November 2014	35,0	27,6	75,5	41,2
3 November 2014	35,0	26,9	80,2	42,7
4 November 2014	34,7	27,4	79,6	38,6
5 November 2014	35,1	26,6	81,4	36,4
6 November 2014	35,9	28,2	78,0	44,4
7 November 2014	35,4	27,0	84,5	47,7
8 November 2014	35,6	28,8	76,5	46,1
9 November 2014	35,2	28,9	78,6	46,0
10 November 2014	35,3	28,8	75,4	51,4
11 November 2014	36,2	28,3	78,8	37,7
12 November 2014	36,3	28,1	71,7	36,9
13 November 2014	35,2	29,0	75,4	47,8



Tabel 5 Penimbangan berat tubuh larva per 3 (tiga) hari sekali

Umur larva (hari)	Jenis sampel	Berat larva total (g)					
		Replika frekuensi feeding 1 x 3			Replika frekuensi feeding 1 x 1		
		1	2	3	1	2	3
7	Sampah Pisang	1.34	1.57	2.10	1.17	1.61	1.76
	Sampah kantin	1.50	1.33	1.77	1.25	1.71	1.98
	Sampah mentimun	1.23	2.17	0.55	1.23	1.89	0.60
	Pakan ayam	1.31	1.51	0.49	1.16	1.66	0.39
10	Sampah Pisang	2.67	4.51	5.25	4.69	5.30	4.31
	Sampah kantin	9.84	11.17	11.67	13.09	12.14	11.93
	Sampah mentimun	9.85	12.27	7.08	7.11	9.98	7.90
	Pakan ayam	17.85	17.13	8.01	9.80	7.18	3.69
13	Sampah Pisang	5.51	10.40	10.06	9.42	9.70	7.89
	Sampah kantin	15.29	20.79	19.46	24.09	20.61	21.67
	Sampah mentimun	21.34	26.47	21.45	18.08	21.90	20.91
	Pakan ayam	38.31	28.47	24.98	32.95	26.06	24.55
16	Sampah Pisang	13.64	17.27	15.62	12.25	13.92	13.93
	Sampah kantin	44.80	43.14	41.60	41.05	37.75	41.88
	Sampah mentimun	30.79	41.28	38.26	31.22	31.78	38.94
	Pakan ayam	47.34	35.57	42.96	42.15	45.01	39.44
19	Sampah Pisang	13.98	26.24	23.68	21.96	19.65	21.71
	Sampah kantin	49.83	58.73	68.64	54.24	50.66	48.94

Tabel 5 *Lanjutan*

Umur larva (hari)	Jenis sampel	Berat larva total (g)					
		Replika frekuensi feeding 1 x 3			Replika frekuensi feeding 1 x 1		
		1	2	3	1	2	3
21	Sampah mentimun	37.10	43.47	44.16	36.80	39.73	40.95
	Pakan ayam	40.43	33.23	43.53	39.87	49.86	40.10
	Sampah Pisang	19.41	31.84	33.11	22.82	25.78	25.33
	Sampah kantin	49.56	52.04	52.23	52.26	43.18	53.38
	Sampah mentimun	40.89	45.36	47.23	43.19	40.90	43.72
25	Pakan ayam	31.07	31.89	34.59	34.22	39.55	35.73
	Sampah Pisang	24.88	38.06	35.22	27.05	29.75	32.54
	Sampah kantin	46.20	51.59	55.20	45.74	45.00	51.46
	Sampah mentimun	44.53	49.29	48.22	46.43	48.02	43.81
	Pakan ayam	30.45	24.38	32.16	28.69	36.67	30.93
28	Sampah Pisang	32.82	46.23	42.09	37.44	33.58	35.25
	Sampah kantin	44.06	39.79	49.37	41.84	42.31	39.17
	Sampah mentimun	46.77	41.98	44.10	48.07	42.50	44.94
	Pakan ayam	28.39	23.90	32.95	29.04	35.93	33.99
31	Sampah Pisang	22.96	42.14	36.95	26.72	34.18	33.55
	Sampah kantin	25.63	36.11	30.20	29.67	30.23	32.05
	Sampah mentimun	48.76	50.17	45.23	42.58	43.11	45.96
	Pakan ayam	1.34	1.57	2.10	1.17	1.61	1.76

Tabel 6 Data jumlah larva, prepupa, dan lalat per tiga hari

Umur Larva (hari)	1 x 3				1 x 1			
	Larva	Prepupa	Lalat	Mati (total)	Larva	Prepupa	Lalat	Mati (total)
<b>Sampah Pisang</b>								
7	200	0	0	0	200	0	0	0
10	200	0	0	0	200	0	0	0
13	200	0	0	0	200	0	0	0
16	200	0	0	0	200	0	0	0
19	200	0	0	0	200	0	0	0
22	200	0	0	0	200	0	0	0
25	200	0	0	0	200	0	0	0
28	200	0	0	0	200	0	0	0
31	179	0	0	21	193	0	0	7
<b>Sampah kantin</b>								
7	200	0	0	0	200	0	0	0
10	200	0	0	0	200	0	0	0
13	200	0	0	0	200	0	0	0
16	200	0	0	0	200	0	0	0
19	175	22	0	3	170	27	0	3
22	135	59	0	6	129	67	0	4
25	62	128	0	10	56	136	0	8
28	39	146	0	15	39	150	0	11
31	9	157	0	34	13	162	0	25

Tabel 6 Lanjutan

Umur Larva (hari)	1 x 3				1 x 1			
	Larva	Prepupa	Fly	Mati (Total)	Larva	Prepupa	Fily	Mati (total)
Sampah mentimun								
7	200	0	0	0	200	0	0	0
10	200	0	0	0	200	0	0	0
13	200	0	0	0	200	0	0	0
16	200	0	0	0	200	0	0	0
19	200	0	0	0	200	0	0	0
22	193	5	0	2	192	5	0	3
25	185	10	0	5	184	10	0	6
28	159	31	0	10	174	16	0	10
31	138	42	0	20	156	20	0	24
Pakan ayam								
7	200	0	0	0	200	0	0	0
10	200	0	0	0	200	0	0	0
13	200	0	0	0	200	0	0	0
16	195	5	0	0	195	5	0	0
19	81	119	0	0	89	111	0	0
22	34	166	0	0	21	179	0	0
25	16	184	0	0	5	190	0	5
28	7	189	0	4	2	193	0	5
31	2	193	0	5	0	195	0	5

Tabel 7 Data residu hasil dekomposisi (berat basah)

Sampel	Berat (g)					
	Replika frekuensi feeding 1 x 3			Replika frekuensi feeding 1 x 1		
	1	2	3	1	2	3
Pakan ayam	66.053	22.384	23.989	47.201	27.794	28.993
Sampah pisang	426.000	413.700	421.300	438.400	380.400	392.200
Sampah kantin	204.400	239.500	241.700	130.400	154.000	182.100
Sampah mentimun	4526.000	4611.000	4706.000	4443.000	4423.000	4463.000

Tabel 8 Data kadar air residu hasil dekomposisi

Sampel	Kadar air (%)					
	Replika frekuensi feeding 1 x 3			Replika frekuensi feeding 1 x 1		
	1	2	3	1	2	3
Pakan ayam	47.78	46.50	32.23	38.48	32.84	35.80
Sampah pisang	79.32	77.67	77.15	81.02	82.35	81.73
Sampah kantin	77.07	75.47	74.46	77.09	70.49	73.10
Sampah mentimun	98.00	98.07	98.14	98.00	97.90	97.86

Tabel 9 Data analisis N-total sampel

Sampel	frek. feeding 1 x 3 (%)				frek. feeding 1 x 1 (%)			
	N-organik (%)	Nitrate (%)	Nitrite (%)	N-total (%)	N-organik (%)	Nitrate (%)	Nitrite (%)	N-total (%)
Pakan ayam	1.423	1.278	0.040	2.741	1.839	1.818	0.038	3.696
Sampah pisang	1.019	2.465	0.075	3.560	1.306	2.354	0.021	3.680
Sampah kantin	1.430	1.808	0.006	3.245	1.808	1.718	0.030	3.556
Sampah mentimun	1.159	2.119	0.004	3.281	2.357	0.703	0.004	3.064

**Lampiran 3: Output Data Analisis Varians Anova Two Way dengan SPSS**

*a. Univariate Analysis of Variance untuk Pertambahan Berat Larva*

Output descriptive:

Between-Subjects Factors

		Value Label	N
FREK	1	1X1	108
	2	1X3	108
Jen_Makan	1	BANANA	54
	2	CANTEEN	54
	3	CONTROL	54
	4	CUCUMBER	54

Descriptive Statistics

Dependent Variable: BB

FREK	Jen_Makan	Mean	Std. Deviation	N
1X1	BANANA	19.01	11.968	27
	CANTEEN	32.94	17.017	27
	CONTROL	25.86	16.198	27
	CUCUMBER	31.19	16.467	27
	Total	27.25	16.264	108
1X3	BANANA	20.72	14.317	27
	CANTEEN	34.50	19.692	27
	CONTROL	25.05	14.506	27
	CUCUMBER	32.96	16.925	27
	Total	28.31	17.237	108
Total	BANANA	19.87	13.098	54
	CANTEEN	33.72	18.246	54
	CONTROL	25.46	15.235	54
	CUCUMBER	32.08	16.563	54
	Total	27.78	16.727	216

Output Test of Homogeneity of Variances:Levene's Test of Equality of Error Variances<sup>a</sup>

Dependent Variable: BB

F	df1	df2	Sig.
1.801	7	208	.089

Tests the null hypothesis that the error variance of the dependent variable is equal across groups.

a. Design: Intercept + FREK + Jen\_Makan + FREK \* Jen\_Makan

## Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: BB

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Corrected Model	6699.722 <sup>a</sup>	7	957.103	3.724	.001	.111
Intercept	166692.223	1	166692.223	648.619	.000	.757
FREK	60.357	1	60.357	.235	.628	.001
Jen_Makan	6575.684	3	2191.895	8.529	.000	.110
FREK * Jen_Makan	63.681	3	21.227	.083	.969	.001
Error	53455.086	208	256.996			
Total	226847.031	216				
Corrected Total	60154.808	215				

a. R Squared = .111 (Adjusted R Squared = .081)



# Parameter Estimates

Dependent Variable: BB

Parameter	B	Std. Error	t	Sig.	90% Confidence Interval		Partial Eta Squared
					Lower Bound	Upper Bound	
Intercept	32.963	3.085	10.684	.000	27.866	38.060	.354
[FREK=1]	-1.769	4.363	-.405	.686	-8.977	5.440	.001
[FREK=2]	0 <sup>a</sup>	.	.	.	.	.	.
[Jen_Makan=1]	-12.239	4.363	-2.805	.006	-19.448	-5.030	.036
[Jen_Makan=2]	1.539	4.363	.353	.725	-5.670	8.747	.001
[Jen_Makan=3]	-7.917	4.363	-1.815	.071	-15.126	-.709	.016
[Jen_Makan=4]	0 <sup>a</sup>	.	.	.	.	.	.
[FREK=1] * [Jen_Makan=1]	.054	6.170	.009	.993	-10.141	10.249	.000
[FREK=1] * [Jen_Makan=2]	.203	6.170	.033	.974	-9.991	10.398	.000
[FREK=1] * [Jen_Makan=3]	2.588	6.170	.419	.675	-7.607	12.783	.001
[FREK=1] * [Jen_Makan=4]	0 <sup>a</sup>	.	.	.	.	.	.
[FREK=2] * [Jen_Makan=1]	0 <sup>a</sup>	.	.	.	.	.	.
[FREK=2] * [Jen_Makan=2]	0 <sup>a</sup>	.	.	.	.	.	.
[FREK=2] * [Jen_Makan=3]	0 <sup>a</sup>	.	.	.	.	.	.
[FREK=2] * [Jen_Makan=4]	0 <sup>a</sup>	.	.	.	.	.	.

a. This parameter is set to zero because it is redundant.

Post Hoc Tests

## Multiple Comparisons

Dependent Variable: BB

Tukey HSD

(I) Jen_Makan	(J) Jen_Makan	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	90% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
BANANA	CANTEEN	-13.85*	3.085	.000	-20.97	-6.74
	CONTROL	-5.59	3.085	.271	-12.70	1.53
	CUCUMBER	-12.21*	3.085	.001	-19.33	-5.10
CANTEEN	BANANA	13.85*	3.085	.000	6.74	20.97
	CONTROL	8.26*	3.085	.040	1.15	15.38
	CUCUMBER	1.64	3.085	.951	-5.47	8.75
CONTROL	BANANA	5.59	3.085	.271	-1.53	12.70
	CANTEEN	-8.26*	3.085	.040	-15.38	-1.15
	CUCUMBER	-6.62	3.085	.142	-13.74	.49
CUCUMBER	BANANA	12.21*	3.085	.001	5.10	19.33
	CANTEEN	-1.64	3.085	.951	-8.75	5.47
	CONTROL	6.62	3.085	.142	-.49	13.74

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 256.996.

\*. The mean difference is significant at the .1 level.

b. *Univariate Analysis of Variance untuk Tingkat Reduksi Sampah*  
Output descriptive:

Between-Subjects Factors

		Value Label	N
FREK	1	1X1	12
	2	1X3	12
	1	BANANA	6
J.MAK	2	CANTEEN	6
	3	CONTROL	6
	4	CUCUMBER	6

Descriptive Statistics

Dependent Variable: REDUKSI

FREK	J.MAK	Mean	Std. Deviation	N
1X1	BANANA	61.67	4.163	3
	CANTEEN	65.33	8.505	3
	CONTROL	63.33	9.815	3
	CUCUMBER	52.00	2.000	3
	Total	60.58	7.948	12
1X3	BANANA	52.00	2.000	3
	CANTEEN	53.67	6.429	3
	CONTROL	65.33	19.655	3
	CUCUMBER	53.67	.577	3
	Total	56.17	10.469	12
Total	BANANA	56.83	6.047	6
	CANTEEN	59.50	9.290	6
	CONTROL	64.33	13.938	6
	CUCUMBER	52.83	1.602	6
	Total	58.38	9.366	24

Output Test of Homogeneity of Variances**Levene's Test of Equality of Error Variances<sup>a</sup>**

Dependent Variable: REDUKSI

F	df1	df2	Sig.
6.317	7	16	.001

Tests the null hypothesis that the error variance of the dependent variable is equal across groups.

a. Design: Intercept + FREK + J.MAK + FREK \* J.MAK

## Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: REDUKSI

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Corrected Model	773.625 <sup>a</sup>	7	110.518	1.421	.264	.383
Intercept	81783.375	1	81783.375	1051.876	.000	.985
FREK	117.042	1	117.042	1.505	.238	.086
J.MAK	419.125	3	139.708	1.797	.188	.252
FREK * J.MAK	237.458	3	79.153	1.018	.411	.160
Error	1244.000	16	77.750			
Total	83801.000	24				
Corrected Total	2017.625	23				

a. R Squared = .383 (Adjusted R Squared = .114)

# Parameter Estimates

Dependent Variable: REDUKSI

Parameter	B	Std. Error	T	Sig.	90% Confidence Interval		Partial Eta Squared
					Lower Bound	Upper Bound	
Intercept	53.667	5.091	10.542	.000	44.779	62.555	.874
[FREK=1]	-1.667	7.200	-.231	.820	-14.236	10.903	.003
[FREK=2]	0 <sup>a</sup>	.	.	.	.	.	.
[J.MAK=1]	-1.667	7.200	-.231	.820	-14.236	10.903	.003
[J.MAK=2]	-5.967E-016	7.200	.000	1.000	-12.570	12.570	.000
[J.MAK=3]	11.667	7.200	1.620	.125	-.903	24.236	.141
[J.MAK=4]	0 <sup>a</sup>	.	.	.	.	.	.
[FREK=1] * [J.MAK=1]	11.333	10.182	1.113	.282	-6.443	29.109	.072
[FREK=1] * [J.MAK=2]	13.333	10.182	1.310	.209	-4.443	31.109	.097
[FREK=1] * [J.MAK=3]	-.333	10.182	-.033	.974	-18.109	17.443	.000
[FREK=1] * [J.MAK=4]	0 <sup>a</sup>	.	.	.	.	.	.
[FREK=2] * [J.MAK=1]	0 <sup>a</sup>	.	.	.	.	.	.
[FREK=2] * [J.MAK=2]	0 <sup>a</sup>	.	.	.	.	.	.
[FREK=2] * [J.MAK=3]	0 <sup>a</sup>	.	.	.	.	.	.
[FREK=2] * [J.MAK=4]	0 <sup>a</sup>	.	.	.	.	.	.

a. This parameter is set to zero because it is redundant.

Post Hoc Tests

## Multiple Comparisons

Dependent Variable: REDUKSI  
Tukey HSD

(I) J.MAK	(J) J.MAK	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	90% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
BANANA	CANTEEN	-2.67	5.091	.952	-15.34	10.00
	CONTROL	-7.50	5.091	.475	-20.17	5.17
	CUCUMBER	4.00	5.091	.860	-8.67	16.67
CANTEEN	BANANA	2.67	5.091	.952	-10.00	15.34
	CONTROL	-4.83	5.091	.779	-17.50	7.84
	CUCUMBER	6.67	5.091	.570	-6.00	19.34
CONTROL	BANANA	7.50	5.091	.475	-5.17	20.17
	CANTEEN	4.83	5.091	.779	-7.84	17.50
	CUCUMBER	11.50	5.091	.150	-1.17	24.17
CUCUMBER	BANANA	-4.00	5.091	.860	-16.67	8.67
	CANTEEN	-6.67	5.091	.570	-19.34	6.00
	CONTROL	-11.50	5.091	.150	-24.17	1.17

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 77.750.

#### Lampiran 4 : Gambar Alat, Bahan, dan Hasil Pengamatan

*Gambar 1 Penyediaan sampel dan penelitian pendahuluan*



(a) Penghalusan sampel dengan blender



(b) Pemanasan dengan oven (105°C)



(c) Pendinginan pada desikator



(d) penimbangan berat kering sampel



(e) Penimbangan sampel berdasarkan berat basah



(a) Pembakaran pada furnace (550°C)

*Gambar 2 Penimbangan berat larva dan pengamatan pertumbuhan larva*



(a) Pengeringan larva dengan *tissue*



(b) Penimbangan 10% jumlah larva dengan neraca analitis





(c) Larva/prepupa pada sampah kantin



(d) Larva/prepupa pada sampah mentimun



(e) Larva/prepupa pada pakan ayam



(f) Larva/prepupa pada sampah pisang



(g) Prepupa BSF

*Gambar 4 Analisis Nitrogen*



(a) Kristal  $K_2SO_4$



(b) Pelarutan dengan  
*magnetic stirrer*



(c) Destruksi N organik



(d) Destilator Kjeldahl



(e) penyaringan sampel



(f) pembacaan absorbansi



(g) Titrasi hasil destilasi

*Gambar 5: Rak dan reaktor penelitian*



*Gambar 6: Hygrothermometer*





## DAFTAR PUSTAKA

- Alvarez, L. 2012. **A Dissertation: The Role of Black Soldier Fly, *Hermetia illucens* (L.) (Diptera: Stratiomyidae) in Sustainable Management in Northern Climates.** University of Windsor. Ontario.
- Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi. 2010. **Evolusi Teknologi Pengolahan Sampah** (<http://www.enviro.bppt.go.id/Berita/Data/25052010.htm>, diakses pada 4 Mei pukul 15.49 WIB).
- Bullock, N., Chapin, E., Evans, A., Elder, B., Gibens, M., Jeffay, N., Pierce, B., Robinson, W. 2013. **The Black Soldier Fly – How to Guide.** Ontario: University of Windsor.
- Diener, S. 2010. **A Disertation: Valorisation of Organic Solid Waste using the Black Soldier Fly, *Hermetia illucens*, in Low and Middle-Income Countries.** Swiss: ETH Zurich.
- Diener, S., Solano, N.M.S., Gutiérrez, F.R., Zurbrügg, C., Tockner, K. 2011. **Biological Treatment of Municipal Organic Waste using Black Soldier Fly Larvae.** Waste Biomass Valor, 2: 357-363.
- Diener, S., Zurbrügg, C., Gutiérrez, F.R., Nguyen, D.H., Morel, A., Koottatep, T., Tockner, K. 2011. **Black Soldier Fly Larvae for Organic Waste Treatment-Prospects and Constraints. Rangkuman 'WasteSafe 2011-2<sup>nd</sup> International Conference on Solid Waste Management in the Developing Countries'.** Khulna-Bangladesh, 13-15 Februari 2011. M. Alangir, Q.H. Bari, I.M. Rafizul, S.M.T. Islam, G. Sarkar, M.K. Howlader (eds).
- Ducharme, M.K, Licklider, B.L., Matthews, W.A., Vannata, R.A. 1995. **The Fine Foundation's Conceptual and Analysis Criteria: A Process for Identifying Quality Educational Research.** Des Moines: Fine Foundation.
- Gabrina, S.T., Wilkrama, A.A.J., Mataram, N.K., Mahadyatmika N.W. 2010. **Analisa Angkutan Persampahan di Kecamatan Kuta.** Jurnal Ilmiah Teknik Sipil, 14: 208-217.
- Gaudy, A.F, dan Gaudy, E.T. 1980. **Microbiology for Environmental Engineering Scientist and Engineers.** New York: John Wiley & Sons Inc.

- Hem, S. 2011. **Final Report: Maggot – Bioconversion Research Program in Indonesia, Concept of New Food Resources Result and Applications 2005-2011**. Perancis: Institut de Recherche pour le Développement.
- Holmes, L.A., Vanlaerhoven, S.L., Tomberlin, J.K. 2012. **Relative Humidity Effects on the Life History of *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae)**. Environmental Entomology, 41(4): 971-978.
- Kim, W., Bae, S., Park, K., Lee, S., Choi, Y., Han, S., Koh, Y. 2011. **Biochemical Characterization of Digestive Enzymes in the Black Soldier Fly, *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae)**. Jurnal of Asia-Pasific Entomology, 14:11-14.
- Kroes, K. 2012. **Thesis: Design and Evaluation of A Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) Rearing System**. Belanda: Wageningen University.
- Kusnadi, Syulasma, A., Adisendjaja, Y.H. 2009. **Laporan Penelitian Strategis Nasional Anggaran 2009 (Energi Terbarukan): 'Pemanfaatan Sampah Organik Sebagai Bahan Baku Produksi Bioetanol Sebagai Energi Alternatif'**. Bandung.: Jurusan Pendidikan Biologi Fakultas Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam UPI.
- Lakitan, B. 1993. **Dasar-dasar Fisiologi Tumbuhan**. Jakarta: PT Raja Grafindo Persada.
- Lamond, J., Bhattacharya, N., Bloch, R. 2012. **The Role of Solid Waste Management as A Response to Urban Flood Risk in Developing Countries, A Case Study Analysis**. Bristol: University of the West of England.
- Newton, L., Sheppard, C., Watson, D.W., Burtle, G., Dove, R. 2005. **Using The Black Soldier Fly, *Hermetia Illucens*, As A Value-Added Tool For The Management Of Swine Manure**. California: North California Animal and Poultry Waste Management Center.
- Polprasert, C. 2007. **Organic Waste Recycling: Teknology and Management 3<sup>rd</sup> Edition**. London: IWA Publishing.
- Popa, R. dan Green, T. 2012. **DipTerra LCC e-Book 'Black Soldier Fly Applications'**. DipTerra LCC.

- Popa, R. dan Green, T. 2012. **DipTerra LCC e-Book 'Biology and Ecology of the Black Soldier Fly'**. DipTerra LCC.
- Pramono, S. 2003. **Studi Mengenai Komposisi Sampah Perkotaan di Negara-negara Berkembang**. Jakarta: Universitas Gunadarma.
- Rachmawati, Buchori, D., Hidayat, P., Saurin, H.E.M., Fahmi, N.R.2010. **Perkembangan dan Kandungan Nutrisi Larva *Hermetia illucens* (Linnaeus) (Diptera: Stratiomyidae) pada Bungkil Kelapa Sawit**. Jurnal Entomologi Indonesia, 7 (1): 28-41
- Rynk, R., Kamp, M.v.d, Wilson, G.B., Singley, M.E., Richard, T.L., Kolega., J.J., Gouin, F.R., Laliberty, L., Kay, D., Murphy, D.W., Hoitink, H.A., Brinton, W.F. 1992. **On-Farm Composting Handbook.Northeast Regional Agricultural Engineering Service**. New York.
- Selintung, M., Zubair A., Anneke, E. T.2013. **Skripsi: 'Studi Karakteristik Sampah Pada Tempat Pembuangan Akhir Di Kabupaten Maros'**. Makassar: Universitas Hasanudin.
- Sheppard. C.D., Newton, G.L., Thompson, S.A., Savage, S. 1994. **A Value Added Manure Management System Using the Black Soldier Fly**. Bioresource Technology 50: 275-279.
- Sulistiyawati, E., Mashita, N., Choesin, D.N. 2008. **Pengaruh Agen Dekomposer Terhadap Kualitas Hasil Pengomposan Sampah Organik Rumah Tangga**. Makalah Presentasi Seminar Nasional Penelitian Lingkungan di Perguruan Tinggi, Universitas Trisakti Jakarta, 7 Agustus 2008.
- Suprihatin, A., Gelbert, M., Prihanto, D. 1996. **Konsep Pendidikan Lingkungan Hidup dan Wall Chart**. Malang. Buku Panduan Pendidikan Lingkungan Hidup.
- Sutanto, R. 2002. **Penerapan Pertanian Organik: Pemasyarakatan dan Pengembangannya**. Jakarta: Kanisius.
- Tchobanoglous, G. dan Kreith, F. 2002. **Handbook of Solid Waste Management-Second Edition**. Mc Graw-Hill Companies, Inc.
- Tchobanoglous, G., Theisen, H., Vigil, S. 1993. **Integrated Solid Waste Management: Engineering Principles and Management Issues**. Mc Graw-Hill, Inc.



- USDA. 2014. <http://ndb.nal.usda.gov/ndb/foods/show/2208?qlookup=09040&format=Full&max=25&man=&facet=&new=1> (diakses pada tanggal 20 Januari pukul 14.35).
- Žáková, M. dan Borkovcová, M. 2013. ***Hermetia illucens*** **Application in Management of Selected Types of Organic Waste.** Rangkuman 'The 2<sup>nd</sup> Electronics International Interdisciplinary Conference', 2-6 September 2013: 367-370.

## PROFIL PENULIS



Pretty Yuniarti Elisabeth Sipayung, dilahirkan di Sidikalang pada tanggal 11 Juni 1993. Penulis telah melalui pendidikan formal yaitu di SD Negeri 030306 Barisan Nauli Sidikalang, kemudian melanjutkan ke SMP Negeri 1 Sidikalang, dan SMA Negeri 2 Balige. Setelah lulus dari SMA pada tahun 2011, penulis melanjutkan studinya di Jurusan Teknik Lingkungan ITS Surabaya melalui Jalur SNMPTN. Penulis yang gemar membaca dan naik gunung ini, aktif dalam beberapa organisasi dan kegiatan di kampus. Kegiatan tersebut seperti Himpunan Mahasiswa Teknik Lingkungan (HMTL), MBP ITS, dan PMK ITS. Beberapa pelatihan yang pernah diikuti penulis seperti Pra LKMM TD dan ISO 14001:2004. Penulis juga pernah melaksanakan kerja praktek di PT Indominco Mandiri Bontang Kalimantan Timur pada tahun 2014. Segala bentuk komunikasi yang ingin disampaikan kepada penulis terkait tugas akhir ini dapat disampaikan melalui email [prettysipayung@gmail.com](mailto:prettysipayung@gmail.com).